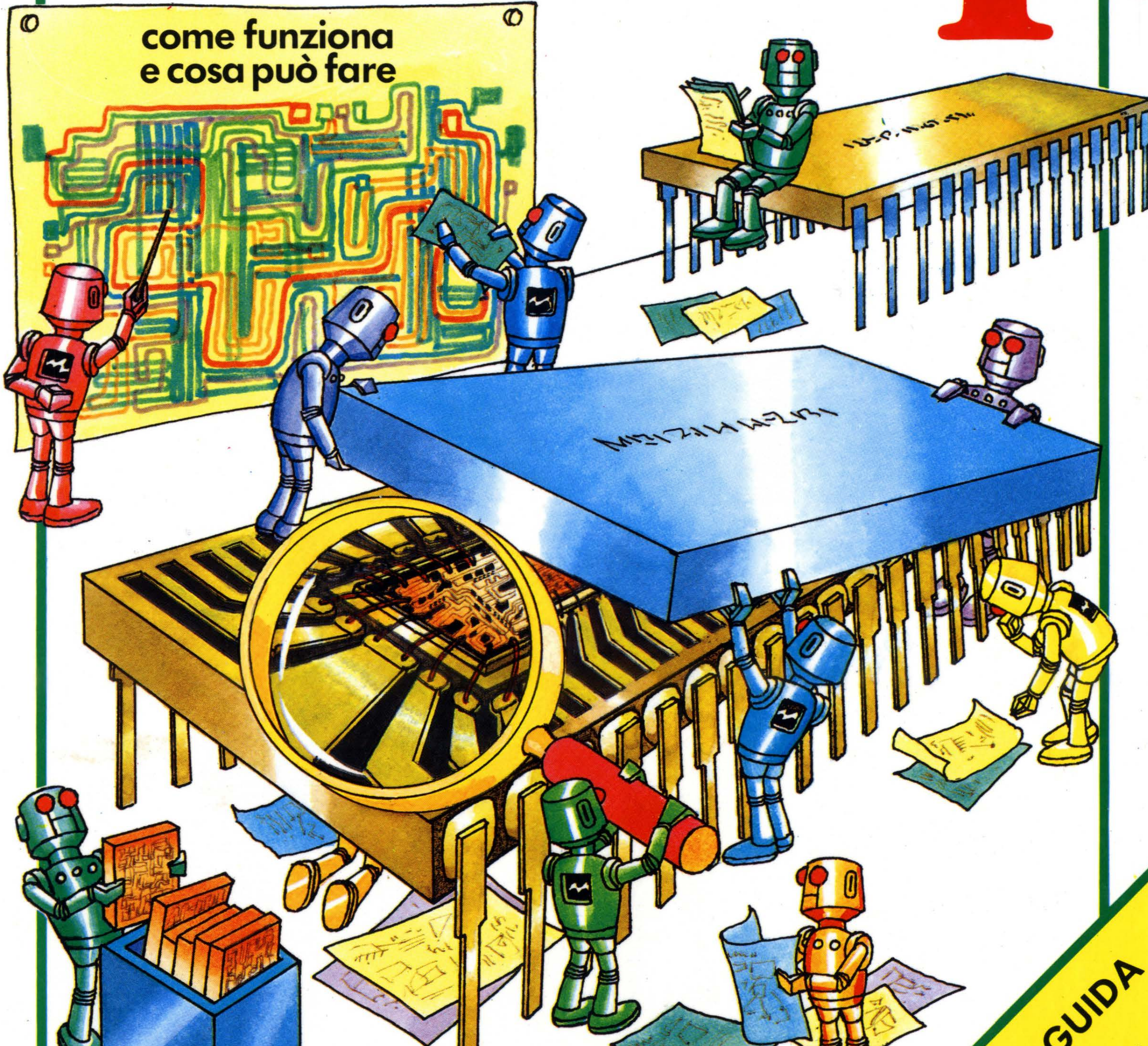
Speedy Computer

entriamo nel Chip

come funziona
e cosa può fare



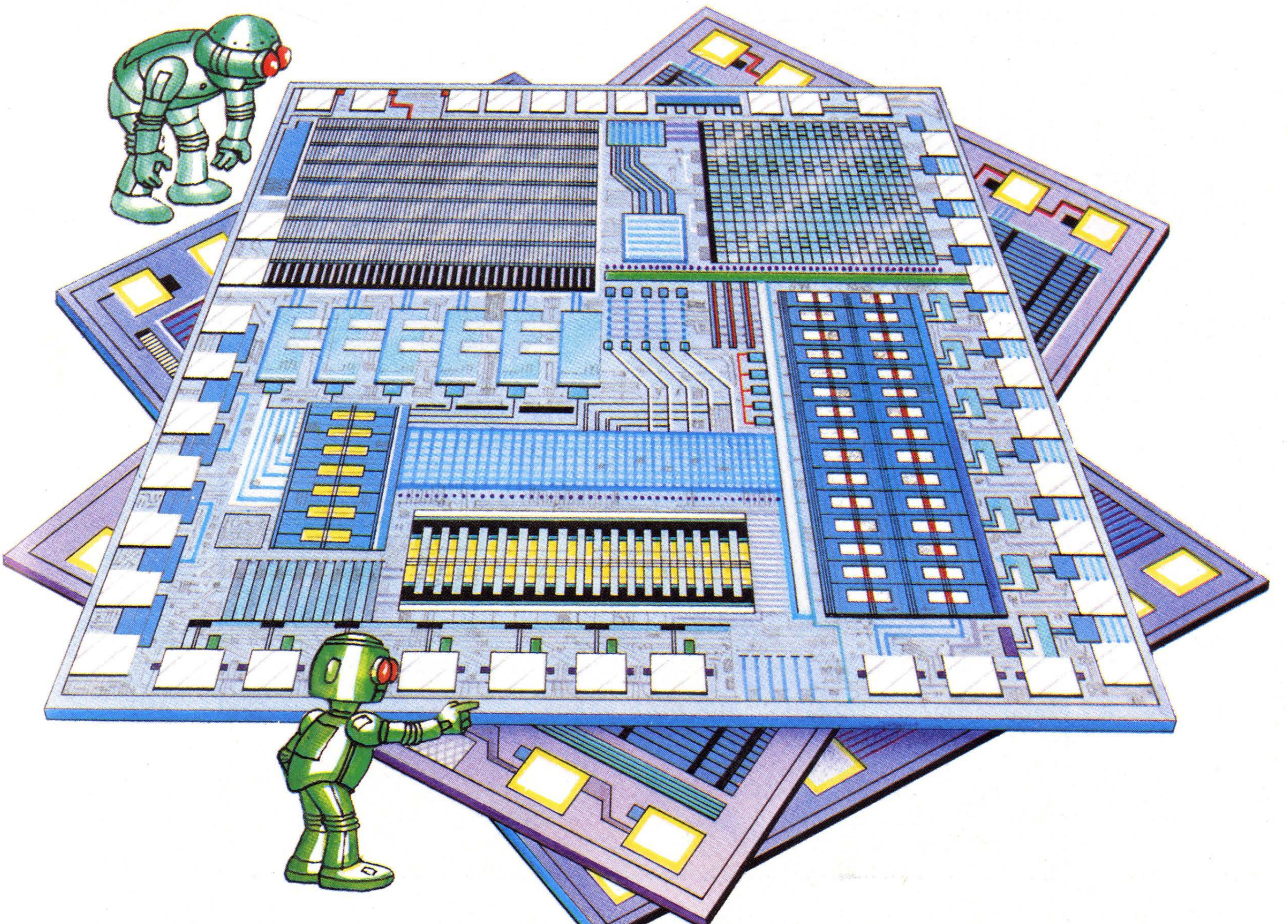
UNA FACILE GUIDA PER PRINCIPIANTI

GRUPPO EDITORIALE JACKSON

entriamo nel Chip

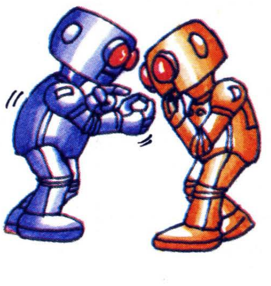
Helen Davies e Mike Wharton
Consulente elettronico: Peter Dartnell della STC Semiconductors

Traduzione: Pier Luigi Cecioni



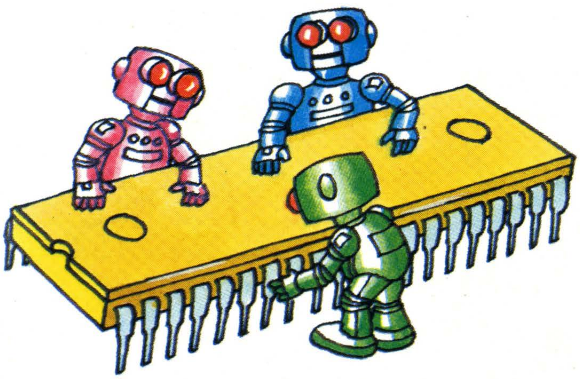
Progetto di Graham Round, Ian Ashman e Roger Priddy
Illustrazioni di Graham Round, Mark Longworth, Graham Smith, Martin Newton, Jeremy Banks, Jeremy Gower, Chris Lyon e Jim Bamber

Indice

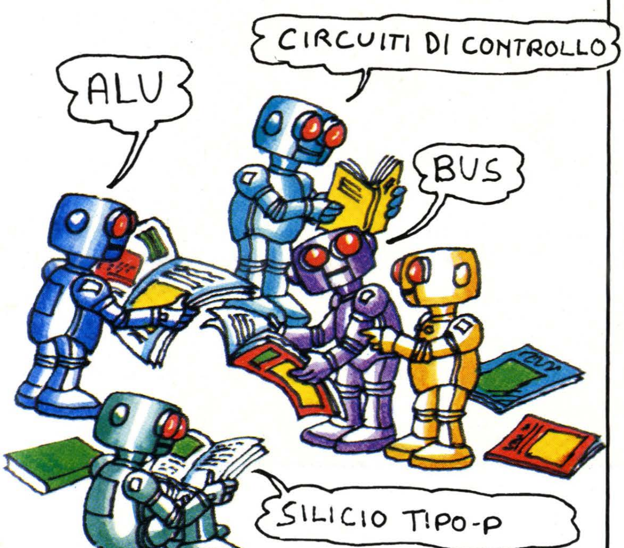


A proposito di questo libro

Probabilmente il chip, o piú correttamente chip di silicio o circuito integrato, è la piú importante invenzione del secolo. Per la maggior parte delle persone è un mistero, come, cosí piccolo, sia in grado di fare tante cose.



Questo libro è un viaggio all'interno del chip: cos'è, come funziona e le stupefacenti cose che riesce a compiere. Vedrai quali sono i diversi tipi di chip e a cosa servono e imparerai il significato dei termini di gergo inventato per descriverli.

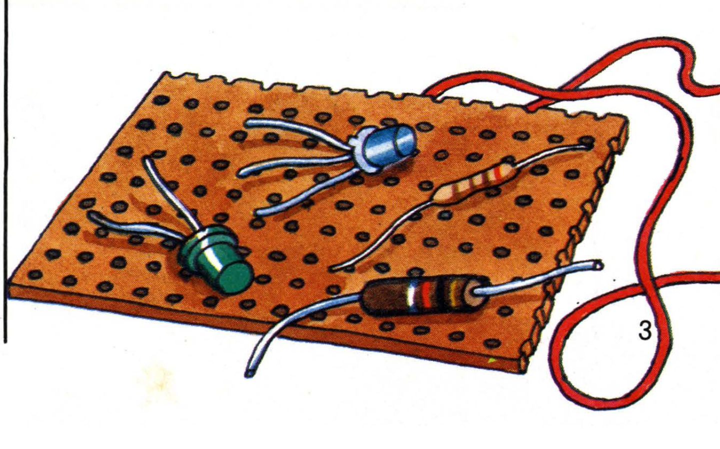


Se guardi sotto la tastiera di un personal computer, o dentro una lavatrice, o una TV a colori, o una calcolatrice, vedrai il piccolo contenitore del chip. Ci sono chip anche nelle auto, negli orologi, nei telefoni, nei videoregistratori, nelle apparecchiature ospedaliere, nei semafori, nei robot e nelle fabbriche. Questo libro spiega come un chip possa controllare tutti questi dispositivi; inoltre, un circuito elettronico che puoi costruire, ti aiuterà a capire come funziona un chip.



Vista interna della tastiera

Dal 1958, anno della sua invenzione, il chip si è sviluppato ad una velocità incredibile e continua a farlo. Ciascun nuovo robot o computer piú potente è il risultato di nuovi e piú potenti chip. Uno degli esperimenti piú recenti, riguarda un chip in grado di riconoscere e riprodurre l'enorme complessità e varietà del linguaggio umano. Questo e tutti i risultati raggiunti dai chip sono basati sui pochi principi elettronici spiegati in questo libro, nel quale vengono descritte anche le scoperte scientifiche che hanno portato all'invenzione del chip.



Presentazione del chip

Un chip è una lamella, di silicio grande circa la metà di un'unghia, ricoperta da microscopici circuiti elettronici attraverso i quali pulsano milioni di debolissime correnti elettriche. Tramite queste correnti, un chip può eseguire tutte le operazioni necessarie per controllare computer, robot, veicoli spaziali, calcolatrici e ogni genere di apparecchiature.

L'uso della corrente elettrica per svolgere operazioni è la base dell'elettronica. Un chip è detto microelettronico poiché i suoi circuiti e le correnti che utilizza sono molto piccoli.

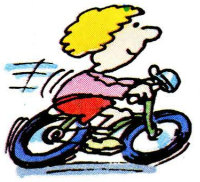


Questa figura mostra le dimensioni effettive di un chip (un quadrato di circa 5mm di lato). Puoi vedere come sia piccolo in confronto alle caramelline.

Come un chip controlla un meccanismo

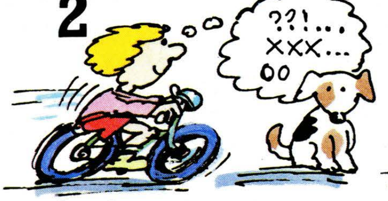
Usando le correnti elettriche come segnali, un chip può inviare e ricevere messaggi, eseguire calcoli, mettere a confronto informazioni e prendere semplici decisioni logiche come un minuscolo cervello elettronico. Ciò significa "elaborare (*process*) le informazioni", ed è altro nome del chip è microprocessore. Il cervello elabora continuamente informazioni, come puoi vedere qui.

1



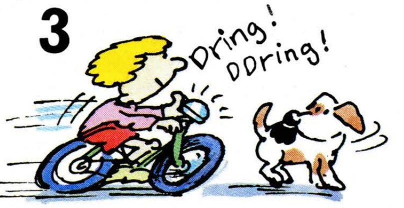
Per far procedere una bicicletta, il tuo cervello invia segnali a diverse parti del corpo.

2



Se si presenta un ostacolo, gli occhi inviano un messaggio al cervello che lo elabora.

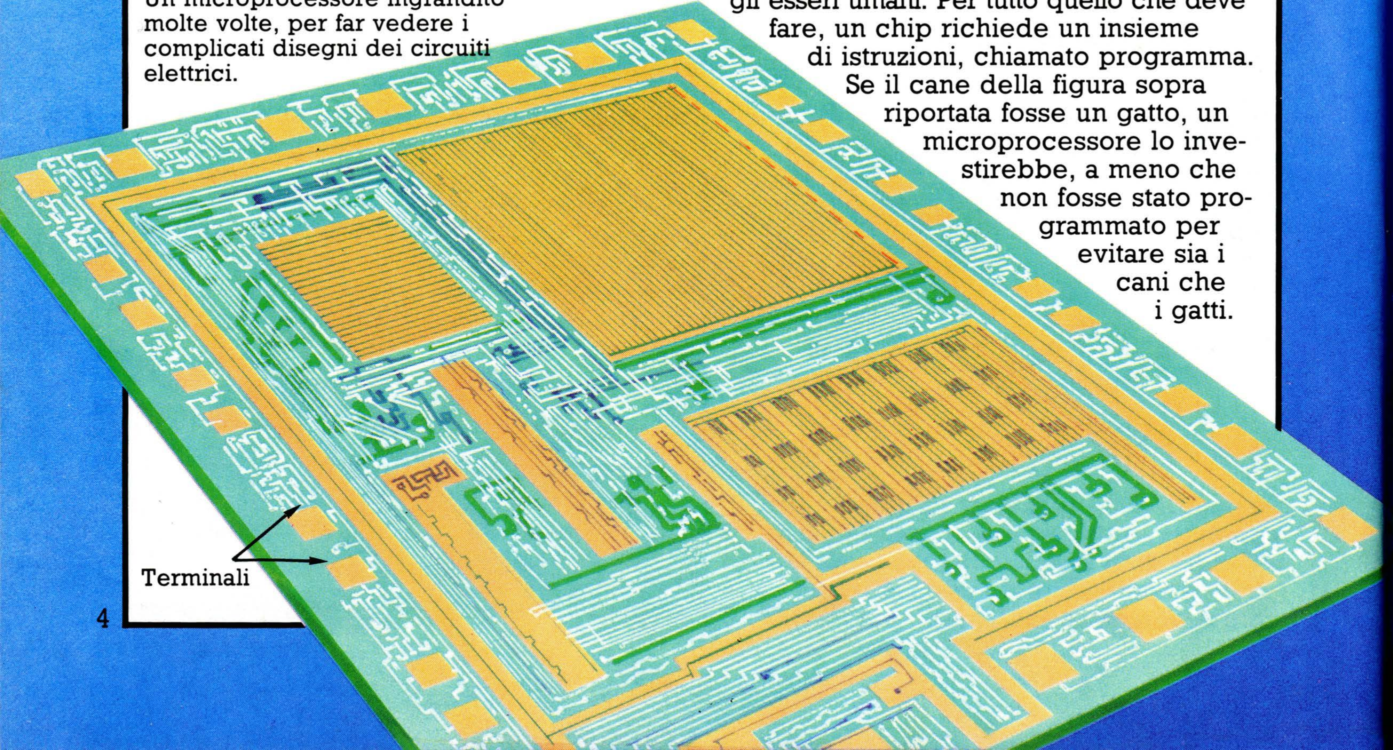
3



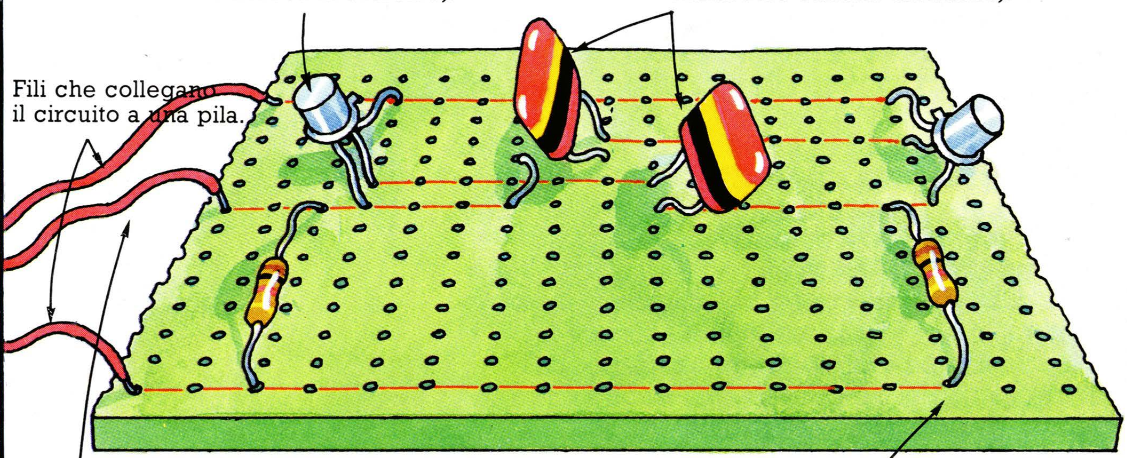
Come conseguenza di questa attività, il cervello invia un nuovo insieme di segnali per far fronte alla nuova situazione.

Un chip può svolgere funzioni analoghe a quelle di un cervello, ma non riesce a pensare come gli esseri umani. Per tutto quello che deve fare, un chip richiede un insieme di istruzioni, chiamato programma. Se il cane della figura sopra riportata fosse un gatto, un microprocessore lo investirebbe, a meno che non fosse stato programmato per evitare sia i cani che i gatti.

Un microprocessore ingrandito molte volte, per far vedere i complicati disegni dei circuiti elettrici.



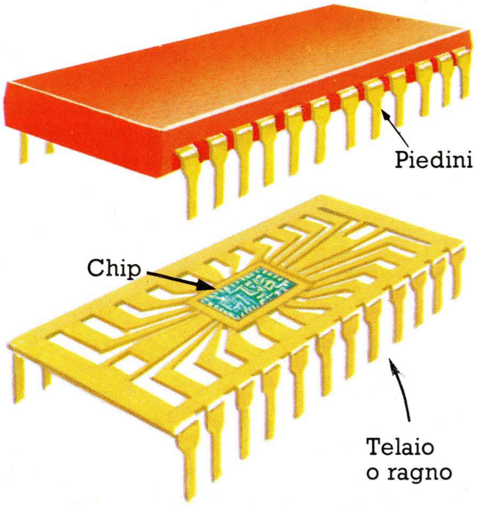
Cos'è l'elettronica?



Si chiama elettronica il controllo e la manipolazione di correnti elettriche deboli. I dispositivi che controllano le correnti sono chiamati componenti e un circuito è un gruppo di componenti collegate fra loro da conduttori.
La figura soprastante mostra un circuito con tre tipi di componenti: transistor, resistenze e condensatori, che sono collegati fra loro da tracce di rame sul retro della piastra del circuito. Le linee tratteggiate mostrano il percorso seguito dalla corrente elettrica sulle tracce che uniscono le componenti.
Un chip microelettronico contiene molte centinaia di circuiti, riuniti tutti in un pezzettino di silicio. Le componenti sono costruite *sul* e *con* il silicio; sono collegate fra loro da tracce di alluminio incise sulla superficie del chip e cosí sottili da essere invisibili. Il nome corretto di un chip sarebbe circuito integrato. Il numero di circuiti inseribili su un chip continua ad aumentare con lo sviluppo delle tecniche di fabbricazione.

Rivestimento dei chip

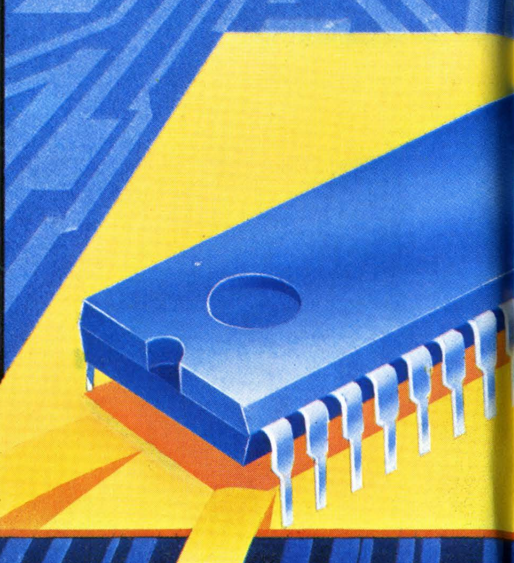
I chip vengono inseriti in piccoli contenitori plastici muniti di piedini di rame, rivestiti d'oro o stagno, buoni conduttori elettrici. I piedini trasportano i segnali elettrici che escono ed entrano nel chip, oltre alla corrente necessaria ad alimentarlo.

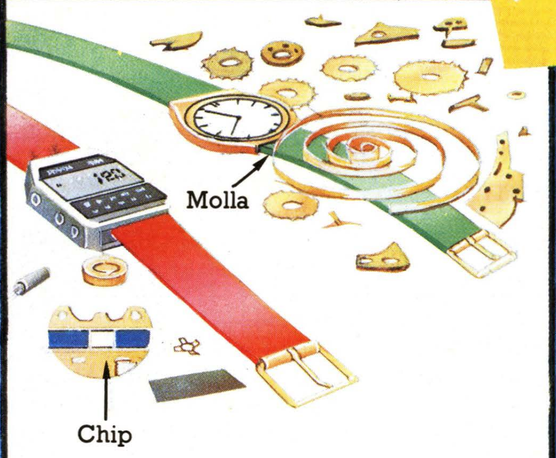


Togliendo la parte superiore dell'involucro, si vede il chip al centro, e i collegamenti metallici con i piedini. L'insieme dei collegamenti metallici costituisce il telaio, detto talvolta "ragno". I fili d'oro, piú sottili di capelli, conducono i segnali elettrici dal ragno al chip; sono saldati al chip in punti lungo il bordo chiamati terminali, che puoi vedere nella figura di pag. 4.

Come il chip ha preso il sopravvento

Il chip è stato realizzato negli Stati Uniti grazie alla "corsa allo spazio" degli anni sessanta, quando si cercava di far entrare sempre piú congegni elettronici in spazi sempre piú piccoli. In breve i costruttori sfruttarono le minuscole dimensioni del chip e il basso consumo di elettricità per costruire calcolatrici tascabili e microcomputer. Ben presto, data la loro affidabilità e il basso costo, i chip presero il sopravvento sui vecchi metodi meccanici di controllo di apparecchiature, come orologi e macchine fotografiche, e sostituirono gli ingombranti circuiti elettronici nei televisori, radio e relé telefonici. Un chip può controllare qualsiasi apparecchiatura, purché i suoi segnali elettronici siano traducibili in una forma da lei utilizzabile e le informazioni che ne provengono siano traducibili in segnali elettronici.



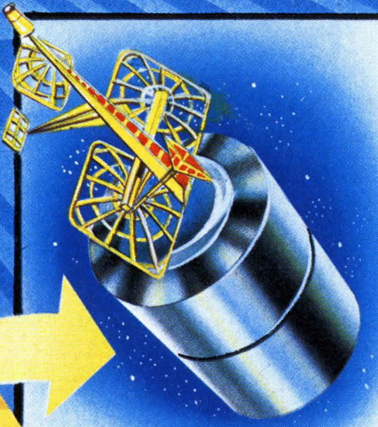


Questi due orologi mostrano la differenza fra controllo meccanico e controllo microelettronico. L'orologio meccanico è composto di molte piú parti ed è in grado di fare molte meno cose. Per caricarlo bisogna avvolgerne la molla che in seguito, svolgendosi, muove gli ingranaggi che a loro volta fanno spostare le lancette sul quadrante. Nell'orologio elettronico il chip scandisce il tempo e illumina le cifre sul quadrante; può anche mostrare la data e il giorno della settimana, azionare una sveglia e avere una calcolatrice incorporata.
Il chip di un orologio elettronico è alimentato da piccole pile con una durata che può arrivare a cinque anni ed è molto piú affidabile degli ingranaggi di un orologio meccanico perché non presenta parti meccaniche che si possano rompere o consumare.



Nei computer, le calcolatrici e i videogiochi, è una tastiera o un joystick a tradurre i messaggi dell'utente nei segnali elettrici poi elaborati dal o dai chip al loro interno. I risultati dell'elaborazione vengono mostrati tramite segnali elettrici che illuminano zone diverse di uno schermo formando numeri, parole o immagini.





Le piccole dimensioni dei chip e l'incredibile velocità alla quale lavorano sono vitali nei veicoli spaziali in cui è necessario effettuare calcoli complessi in pochi secondi, per agire sui comandi e mantenere il veicolo nella traiettoria corretta. Tale velocità e accuratezza è notoriamente impossibile per il cervello umano.



Robot verniciatore

Un robot industriale è azionato da molti motori distinti, ognuno dei quali fa muovere una parte del robot. Accendendo e spengendo i diversi motori, un chip può far svolgere al robot sequenze di azioni molto complesse.



I chip controllano una quantità di apparecchiature domestiche, giochi e giocattoli. In una lavatrice, per esempio, il chip immagazzina nei suoi circuiti, sotto forma di insiemi di segnali elettrici, i programmi di lavaggio: quando la accendi e premi i pulsanti, chiude automaticamente lo sportello e sceglie il programma che desideri. Poi, tramite segnali elettrici, apre le valvole che fanno entrare e uscire l'acqua, accende e spenge lo scalda acqua, aziona e arresta il motore che fa ruotare il tamburo.

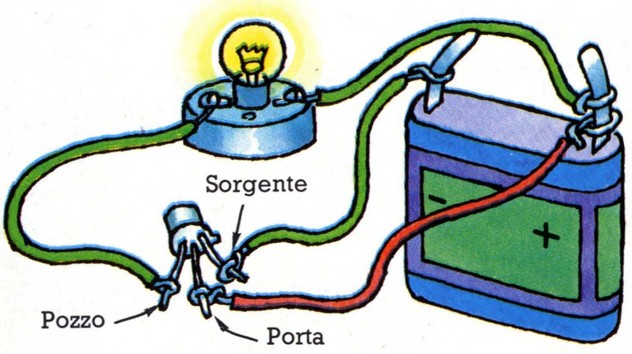


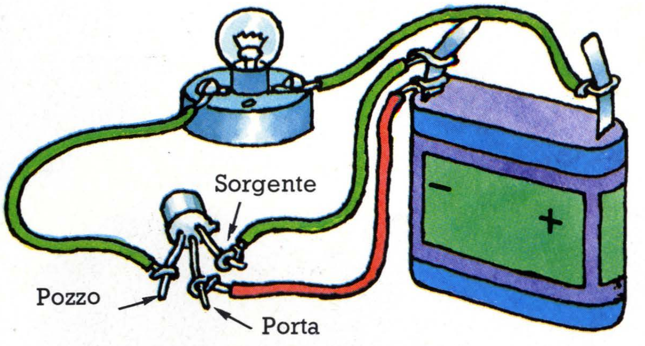
Questo telefono a gettoni ha un chip al suo interno che registra automaticamente il denaro che vi viene inserito, misura la lunghezza della telefonata e ne calcola il costo. Se si ha diritto a un resto, il chip invia un segnale per far consegnare le monete giuste. Se si verifica un guasto chiama automaticamente il servizio riparazioni... e chiama la polizia se viene assalito.

Ancora sull'elettronica

Le componenti principali dei circuiti di un chip sono i transistor. Un transistor fa passare e blocca una corrente elettrica: è come un normale interruttore, solo che viene azionato da una forza elettrica chiamata voltaggio, invece che dalla mano. I transistor vengono utilizzati in numerose apparecchiature elettroniche, per esempio nelle TV e nelle radio.

Qui sotto mostriamo come sia possibile usare un transistor per far passare e bloccare la corrente che alimenta una lampadina. Il circuito è molto semplice e il suo transistor funziona come quelli microscopici all'interno di un chip.

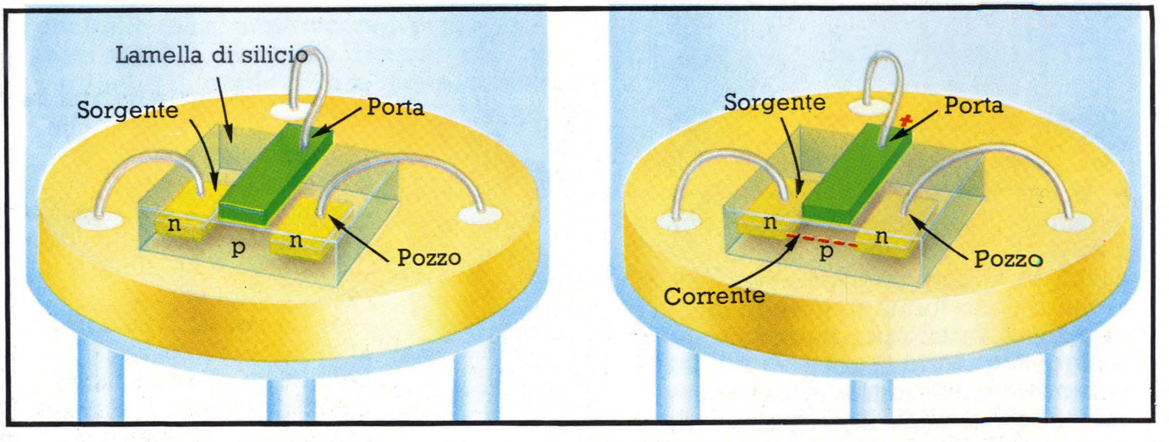




La lampadina non si accenderà se la corrente proveniente dalla pila non può scorrere lungo il circuito attraverso il transistor. I tre piedini del transistor si chiamano sorgente, porta e pozzo. Una corrente elettrica può passare attraverso un transistor solo se viene applicato un voltaggio elettrico alla porta; affinché la porta abbia un voltaggio dev'essere collegata al polo positivo, o alto, della pila, come mostrato nella figura di sinistra. Se la porta è collegata al polo negativo, o basso, della pila, il suo voltaggio sarà basso e la lampadina non si accenderà. Quindi la lampadina può essere accesa o spenta modificando il voltaggio della porta.

Come funzionano i transistor

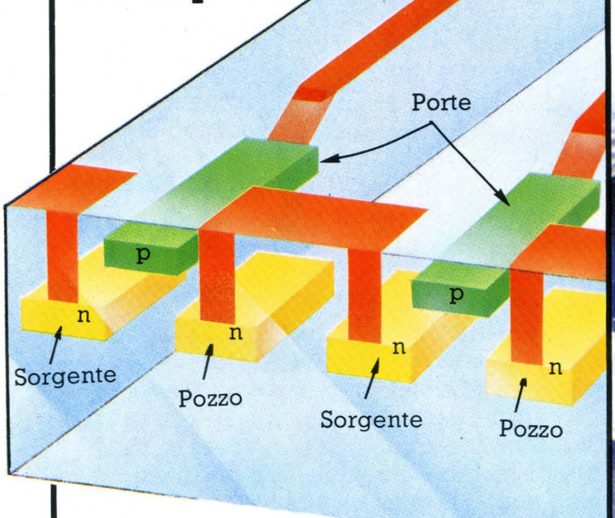
Nella figura qui sotto puoi vedere l'interno ingrandito dell'involucro metallico del transistor delle precedenti figure. Il transistor vero e proprio è un frammento di silicio. Il silicio fa parte di un gruppo di sostanze chimiche chiamate semiconduttori perché conducono l'elettricità solo in determinate condizioni. Per fabbricare un transistor, nel silicio vengono immesse impurità che creano due nuovi tipi di silicio con caratteristiche elettriche diverse e chiamati silicio di tipo p e silicio di tipo n.



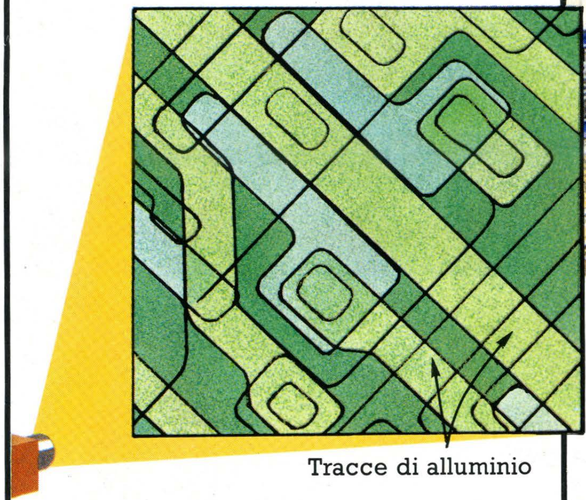
La maggior parte dei transistor ha due isole di silicio di tipo n in uno strato di tipo p (anche se può essere l'inverso). Il silicio di tipo p impedisce il flusso di elettricità fra due isole di tipo n.

Tuttavia, quando viene applicato un basso voltaggio alla porta metallica sopra il silicio di tipo p, il silicio di questo tipo vicino alla porta diventa di tipo n e la corrente può fluire attraverso il transistor.

I transistor nei chip



I transistor in un chip sono migliaia di volte piú piccoli di quelli della pagina precedente, ma funzionano nello stesso modo. Qui sopra mostriamo due transistor uno accanto all'altro sulla superficie di un chip. I conduttori di collegamento con la sorgente, la porta e il pozzo sono tracce di alluminio sovrapposte ai transistor e separate da essi da uno strato isolante di diossido di silicio. I transistor nei circuiti di un chip fanno passare corrente quando ricevono un voltaggio elevato e la bloccano con un voltaggio basso. I voltaggi sono segnali che i transistor ricevono da altri transistor che a loro volta fanno passare o bloccano la corrente.



Ecco cosa si vede guardando un chip con un potente microscopio. Le parti verde chiaro sono le tracce di alluminio che vanno alla sorgente, alla porta e al pozzo di un transistor. L'ingrandimento è di circa 2000 volte.

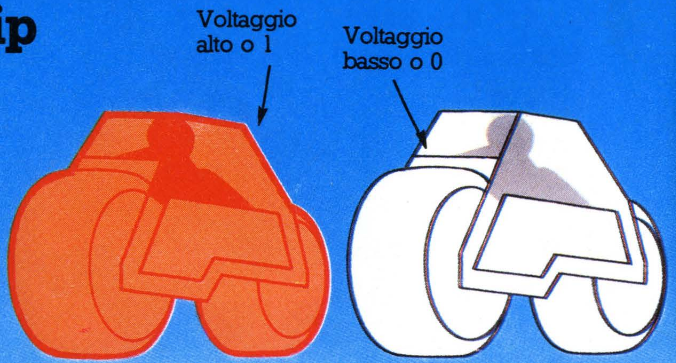
Chip da corsa



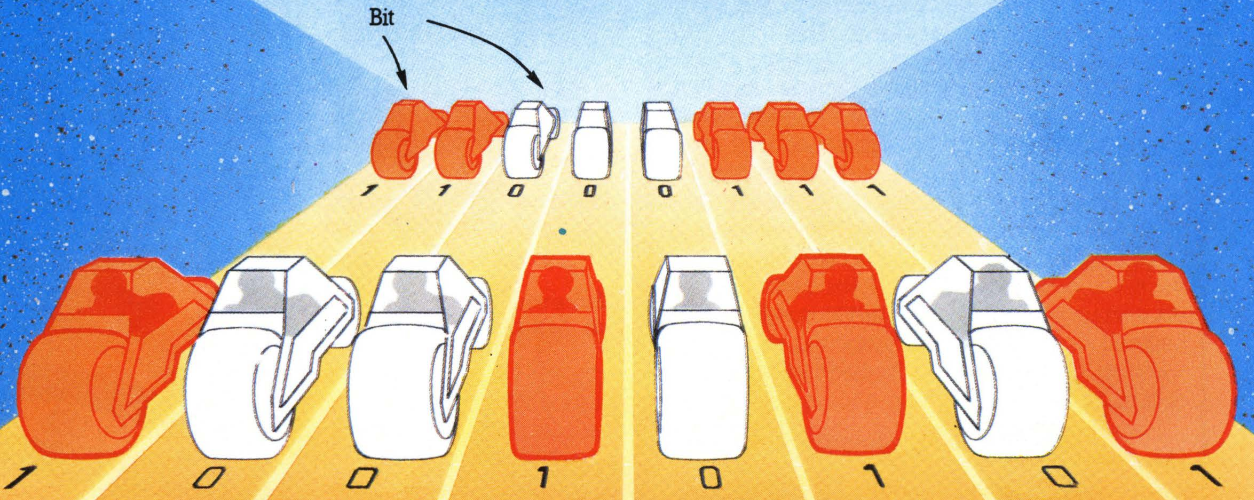
Le sospensioni di questa auto di Formula 1 sono controllate da chip disposti su una piastra all'interno della macchina; durante la corsa i chip regolano continuamente le sospensioni secondo la superficie stradale e la distribuzione del peso al momento. Le caratteristiche delle prestazioni della macchina vengono trasmesse al computer ai box attraverso un'antenna posta dietro la testa del pilota. Si rileverà cosí come il sistema di sospensione ha reagito a velocità e a condizioni stradali diverse, per esempio nelle curve.

Come funzionano i chip

Aprendosi e chiudendosi, i transistor nei circuiti di un chip creano flussi di segnali elettrici che vengono utilizzati come codice per rappresentare numeri, lettere e ogni altro tipo di informazioni. Noi ci serviamo continuamente di codici per rappresentare informazioni e risolvere problemi: la nostra lingua e i sistemi numerici sono codici e un altro codice è quello per la rappresentazione delle note musicali. Un chip dispone di un solo codice che viene utilizzato per rappresentare sia numeri che parole, immagini o movimenti.



Il codice del chip è a due segnali: uno di voltaggio elevato e uno di voltaggio basso. Un codice a due segnali è chiamato binario e può essere rappresentato tramite numeri, indicando con 1 il voltagio elevato e con 0 quello basso. Gli 0 e gli 1 del codice di un chip sono chiamati bit (abbreviazione di *binary digit*, cifra binaria).



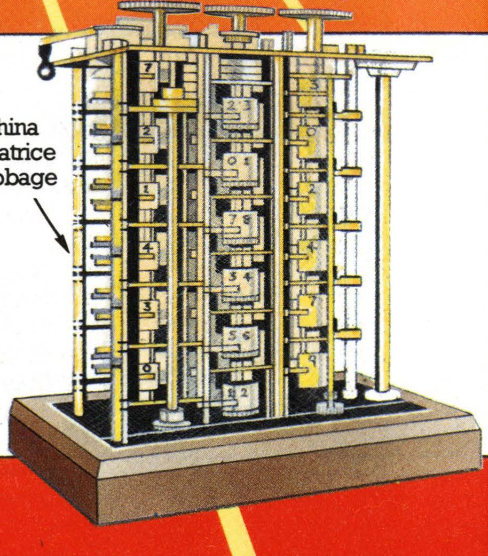
All'interno di un chip i bit scorrono fra i circuiti a gruppi di otto, chiamati byte. Ciascun byte è il codice di un numero, di una lettera o di un altro elemento informativo (per esempio la temperatura di un liquido, o la posizione del braccio di un robot).

Nello spostarsi all'interno del chip, i bit percorrono tracce di alluminio distinte, cosí da non confondersi gli uni con gli altri. Un gruppo di otto tracce parallele in grado di trasportare un byte per volta è chiamato bus.

Perché si usa il binario?

I primi tentativi di costruire macchine in grado di eseguire calcoli erano basati sul sistema numerico decimale, però queste erano troppo complesse per poter funzionar bene. Una delle prime fu quella progettata dal matematico inglese Charles Babbage nel 1821. Utilizzava ruote dentate a dieci denti (uno per ogni cifra da 0 a 9) per rappresentare le colonne delle unità, delle decine, delle centinaia e delle migliaia. I collegamenti fra le ruote erano cosí complicati che la macchina non fu mai in grado di funzionare.

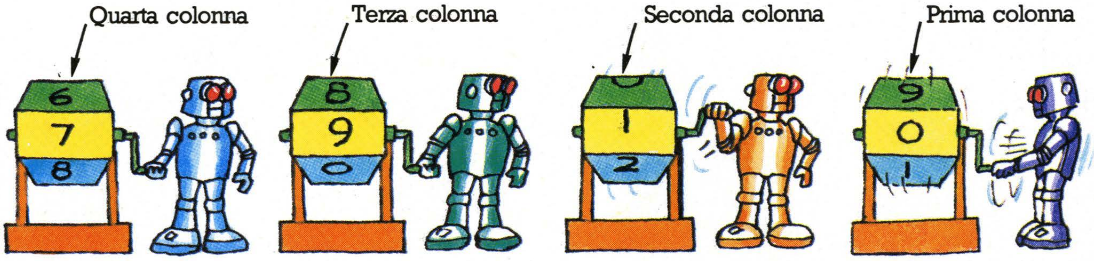
Macchina calcolatrice di Babbage



Come funziona il codice

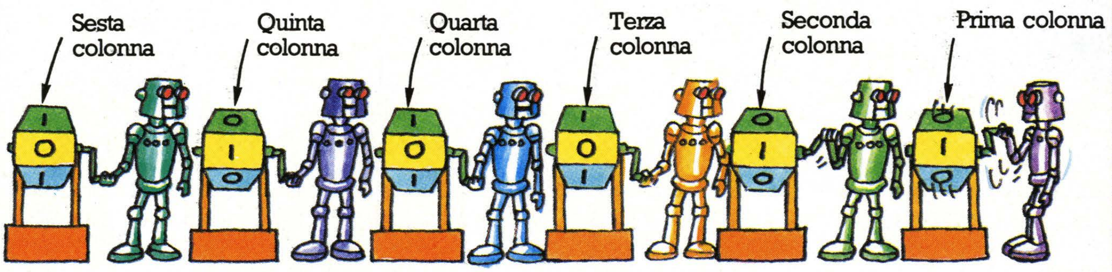
Quello binario è un codice numerico che funziona come il nostro sistema decimale. Il codice decimale ha dieci cifre (0 1 2 3 4 5 6 7 8 9); per ottenere numeri maggiori di 9 raggruppiamo le cifre secondo alcune regole. Il binario usa le stesse regole per raggruppare le sue due cifre, quindi per capire come funziona il binario basta pensare a come si conta nel sistema decimale.

Sistema decimale



Per contare in decimale, si va da 0 a 9, poi si finiscono le cifre e per ottenere il numero successivo si deve usare una combinazione di due cifre. Le regole per far questo consistono nel creare una nuova colonna a sinistra della prima cifra, di inserirvi un 1 e di ricominciare da 0 nella prima colonna. Ogni volta che la prima colonna arriva a 9, viene aggiunto un 1 alla colonna alla sua sinistra. Quando la seconda colonna arriva a 9, viene introdotta una terza colonna a sinistra e cosí via.

Sistema binario



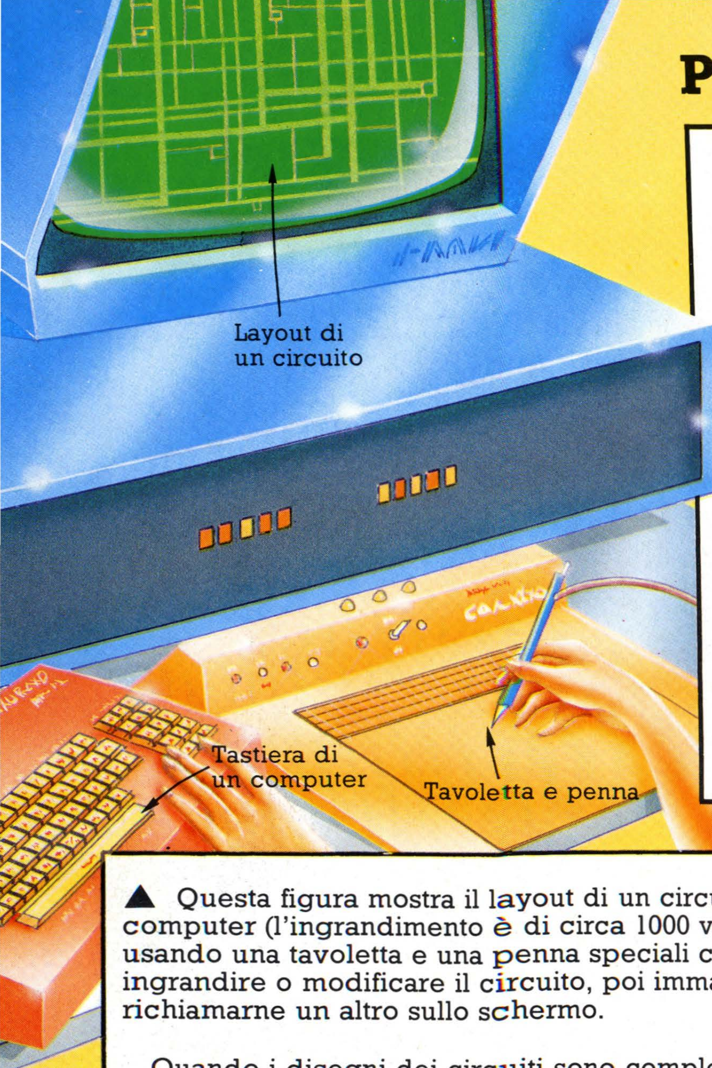
Le regole per contare in binario sono esattamente le stesse, ma poiché le cifre sono solo due, si può arrivare solo a 1 prima di dover iniziare una nuova colonna. Si comincia a contare 0, 1 come nel sistema decimale, però 2 è "10" e 3 "11". Per il 4 si deve aggiungere un'altra colonna a sinistra, cosí è "100"; 5 è "101", 6 è "110" e cosí via. All'inizio il binario sembra strano, ma una volta che ne hai capito le regole, riuscirai a farvi calcoli come nel sistema decimale.*

I matematici sanno da secoli che si può contare e fare calcoli in un sistema a due cifre, ma solo nel 1936 un tedesco chiamato Zuse ebbe l'idea di usare il sistema binario in una macchina per effettuare i calcoli.
Mentre i numeri binari sono troppo lunghi e ingombranti per gli esseri umani, per le macchine risultano ideali perché hanno solo due elementi distinti invece di dieci.
Zuse studiava ingegneria all'Università di Berlino e viveva a casa con i genitori; costruí la sua prima macchina calcolatrice, chiamata Z1, in un angolo del salotto e a poco a poco, ingrandendola e migliorandola, finí per riempire tutta la stanza.
La Z1 utilizzava semplici interruttori meccanici per rappresentare le cifre binarie 0 e 1 e lampadine per mostrare i risultati dei calcoli. Gli interruttori della macchina di Zuse sono gli antenati dei transistor di un chip.

* Questo argomento viene ulteriormente trattato a pagina 40.

Progettazione di un chip

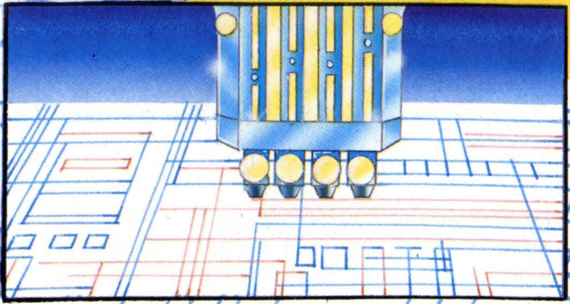
Un chip è costituito da centinaia di circuiti distinti collegati gli uni agli altri e ridotti a dimensioni microscopiche. Se i circuiti fossero composti da componenti elettroniche e conduttori di normali dimensioni occuperebbero la superficie di una palestra. Il lavoro di un progettista di chip consiste nel concepire ciascun circuito e trovare poi il modo migliore per collegarli fra loro, facendoli entrare nella superficie piú piccola possibile. All'origine ciascun circuito andava disegnato a mano partendo tutte le volte dall'inizio; ora molti circuiti sperimentati sono memorizzati in un computer e i progettisti possono utilizzarli come base per nuovi chip, mentre i nuovi circuiti devono ancora essere disegnati a mano prima di venir trasferiti nel computer.



▲ Questa figura mostra il layout di un circuito come compare sullo schermo di un computer (l'ingrandimento è di circa 1000 volte). Battendo istruzioni sulla tastiera, o usando una tavoletta e una penna speciali collegate al computer, il progettista può ingrandire o modificare il circuito, poi immagazzinare il disegno nel computer e richiamarne un altro sullo schermo.

Quando i disegni dei circuiti sono completi, il progettista usa il computer come ausilio per trovare il modo migliore per collegarli tra loro. La velocità di lavoro di un chip dipende dalle distanze che i segnali elettrici devono percorrere fra un circuito e un altro; il tempo che impiegano è misurato in nanosecondi, cioè in miliardesimi di secondo. Scopo del progettista è di avvicinare il piú possibile fra loro i circuiti, il che non solo rende il chip piú rapido, ma anche piú potente, perché diventa possibile inserire piú circuiti in uno determinato spazio.

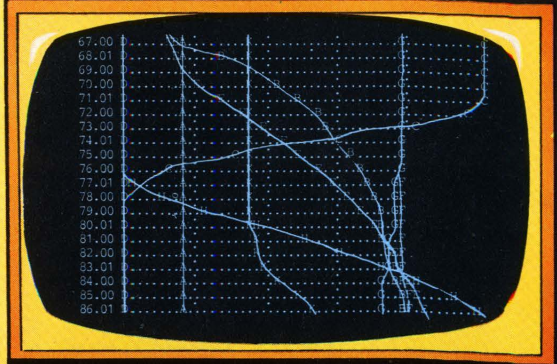
Disegni di controllo

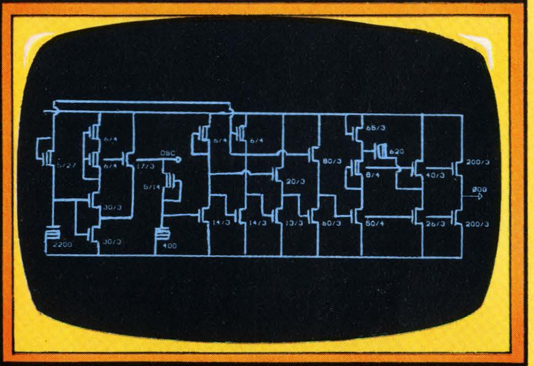


Quando un disegno è completato il computer contiene un elenco delle posizioni esatte di tutte le componenti e di tutti i collegamenti elettrici. Le componenti vengono fabbricate sovrapponendo strati di diverse sostanze chimiche sulla superficie del silicio. Collegando il computer a uno strumento di disegno molto preciso (mostrato nella figura) vengono ottenute mappe, chiamate disegni di controllo (*check plots*), di ciascun strato del chip. I disegni di controllo sono circa 400 volte piú grandi del chip e vengono usati per controllare ciascuno strato in relazione al progetto nel suo insieme.

Prova del progetto

Le tecniche di produzione necessarie per fabbricare anche un solo chip sono cosí costose che non è possibile costruire modelli sperimentali. Il progetto finale dev'essere controllato tramite una simulazione al computer. Simulare significa imitare ciascun aspetto di una situazione per vedere il risultato di un'operazione senza dover effettivamente eseguirla.

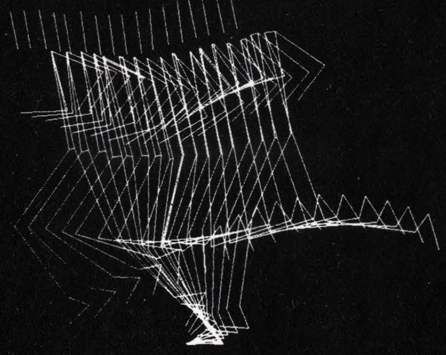




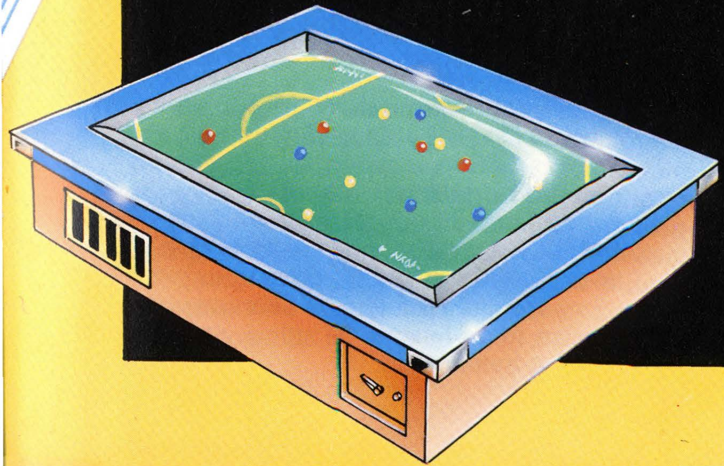
Un computer può simulare il percorso delle correnti elettriche all'interno dei circuiti di un chip, mostrando l'apertura e la chiusura dei transistor e il cammino seguito dai segnali elettrici attraverso i circuiti. Quando il computer controlla il progetto, non mostra i segnali che si spostano nei circuiti, ma i grafici delle variazioni di voltaggio in determinati circuiti.

Molto difficile è il controllo della velocità di un nuovo chip, perché di solito è piú veloce di tutti i chip del computer che effettua il controllo. Questo significa che il computer non è in grado di cronometrare le operazioni del nuovo chip e che è necessario effettuare calcoli complessi per valutarne la velocità.

Ancora sulla simulazione con il computer



▼ Molti giochi su computer simulano situazioni effettive: per esempio, nel biliardo il computer mostra le immagini delle palle sul tavolo. Premendo i tasti di controllo, i giocatori possono scegliere la posizione esatta e il momento in cui colpire una palla, dopo di che il computer riproduce la distanza e la direzione del movimento.

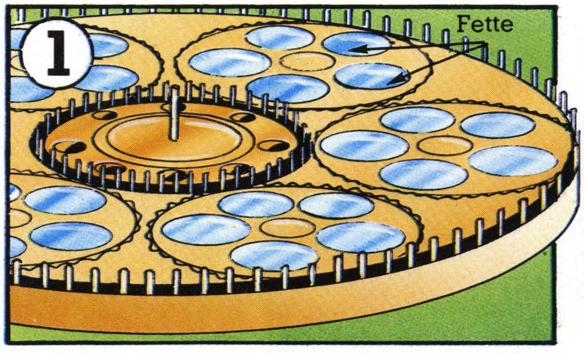


▲ Un altro utilizzo della simulazione su computer è l'analisi per il miglioramento delle prestazioni degli atleti. Film del movimento di un atleta vengono trasformati in una serie di immagini schematiche, sullo schermo di un computer, che ricreano il movimento esatto di ogni parte del corpo. Modificando il movimento di una parte del corpo sul computer ne si analizzano gli effetti sulle figure schematiche.

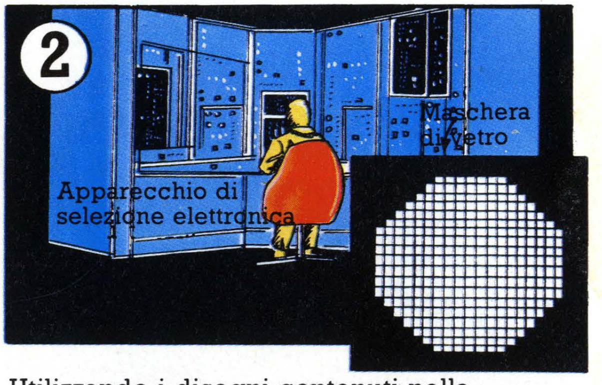
Fabbricazione dei chip

L'inserimento di molte centinaia di circuiti distinti in un chip di silicio di circa 5 mm di lato richiede tecniche di produzione incredibilmente precise. Le componenti nei circuiti di un chip vengono misurate in micron e devono essere disposte con un'accuratezza di un micron o due. Un micron è un millesimo di millimetro (questa pagina è larga circa 170.000 micron). I chip vengono fabbricati con apparecchiature sofisticate, controllate da computer in fabbriche pulitissime e prive completamente di polvere; per guardare i chip durante la fabbricazione sono necessari potenti microscopi.

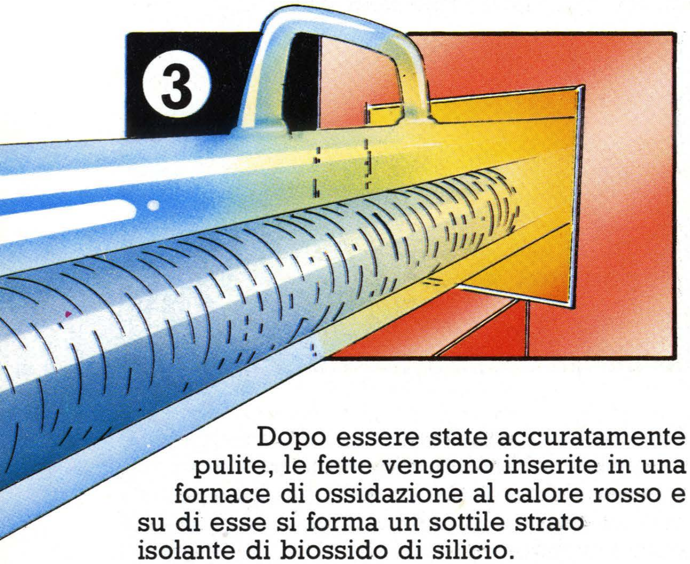
Per costruire i chip, le componenti e i collegamenti dei circuiti vengono sovrapposti a strati, anche nove o dieci, all'interno e sopra il silicio, come viene spiegato qui sotto.



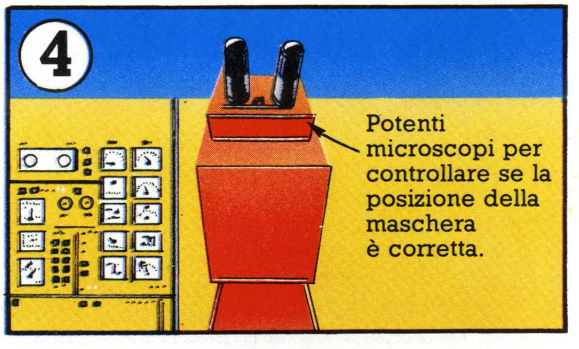
Il silicio è una sostanza chimica che si trova anche nella normale sabbia. Per fabbricare i chip, si ottengono, nel vuoto, cristalli cilindrici di silicio puro, che sono poi tagliati a fette di circa 1/2 mm di spessore. Le fette vengono inserite in una macchina (vedi fig. 1), che ne mola la superficie fino a renderla assolutamente liscia. Da ogni fetta si ottengono diverse centinaia di chip.



Utilizzando i disegni contenuti nella memoria del computer, si ottiene un gruppo di "fotomaschere", una per ciascuno strato del chip. Le maschere sono quadratini di vetro su cui viene stampato il disegno di uno strato di circuiti, o tramite un procedimento fotografico o con la tecnica della selezione elettronica. Le maschere di vetro sono quadrati di circa 10 cm di lato e contengono i disegni di alcune centinaia di chip uno accanto all'altro.

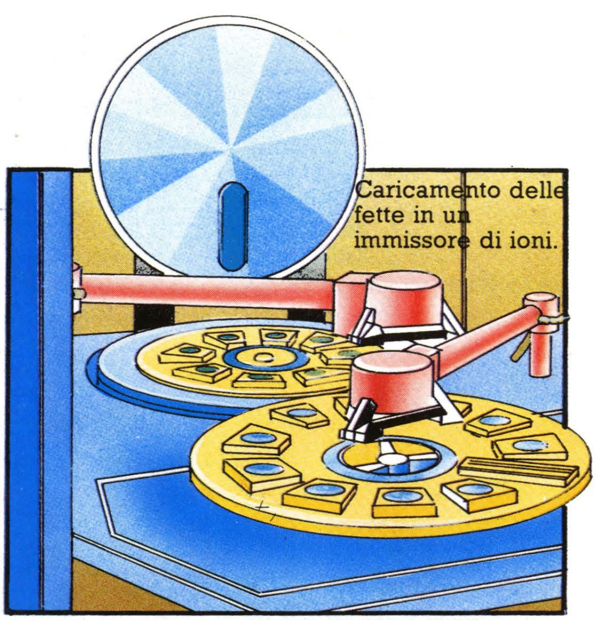


Dopo essere state accuratamente pulite, le fette vengono inserite in una fornace di ossidazione al calore rosso e su di esse si forma un sottile strato isolante di biossido di silicio. Successivamente vengono rivestite con una gelatina plastica morbida e fotosensibile. Questo procedimento e quello che segue vengono ripetuti per ogni strato di circuiti del chip.



Per trasferire il disegno dei circuiti dalla maschera al silicio, la maschera viene messa sopra la fetta e investita da luce ultravioletta. La gelatina nelle zone non protette dalla maschera si indurisce, mentre quella morbida, non esposta alla luce, e il diossido di silicio sottostante, vengono asportati con acidi e solventi, per lasciare nude le zone di silicio da sottoporre a trattamento.

5 I primi strati da incastonare nel silicio sono le impurità chimiche, o agenti droganti, che producono le parti di tipo n e quelle di tipo p delle componenti. Gli agenti droganti vengono inseriti con il metodo della *ion implantation* (impianto di ioni; gli ioni sono particelle provviste di carica elettrica). Le fette vengono inserite in una macchina dove sono bombardate da ioni dell'agente drogante. Gli ioni si muovono ad una velocità enorme e colpiscono la fetta con una tale forza da incastonarsi nelle zone esposte del silicio.

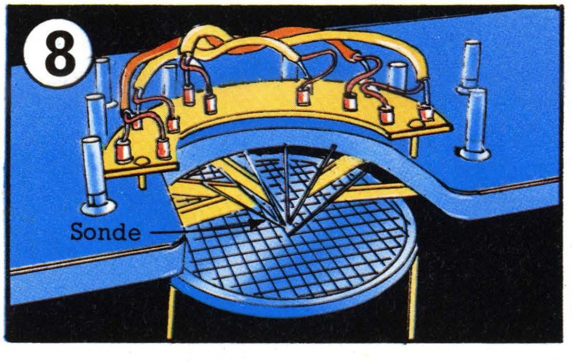




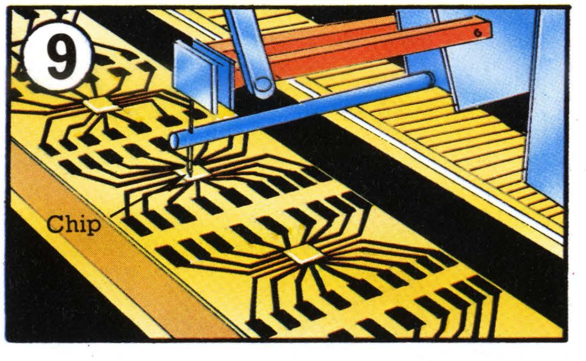
Una volta che nel silicio si sono formate le componenti, vi vengono sovrapposti i collegamenti di alluminio. Possono esservi due strati di collegamenti, separati fra loro da strati isolanti di biossido di silicio. Gli strati di alluminio vengono stesi con un procedimento a evaporazione, con maschere che definiscono le tracce.



Questo ingrandimento di una minuscola zona di un chip mostra come un solo granello di polvere possa provocare un'interruzione in un collegamento di alluminio, rovinando un intero circuito microelettronico. L'aria degli ambienti in cui vengono fabbricati i chip viene continuamente filtrata e fatta circolare perché sia priva di polvere, mentre gli operai indossano tute speciali.



Quando la fabbricazione è terminata, sonde elettriche controllano ciascun chip: quelli difettosi possono arrivare al 70% e vengono contrassegnati da un puntino rosso. Una sega laser o al diamante taglia la fetta nei singoli chip e quelli difettosi vengono scartati, mentre quelli perfetti vengono rivestiti, come mostrato qui accanto.



Per rivestire i chip, macchine simili a quelle da cucire, saldano fili d'oro ai terminali e li attaccano ai connettori metallici del telaio; dopo di che viene posto l'involucro di plastica vengono piegati i piedini. Una volta terminati, i chip sono sottoposti a ulteriori controlli per verificare il funzionamento in qualsiasi condizione, per esempio a temperature estremamente basse o nello spazio.

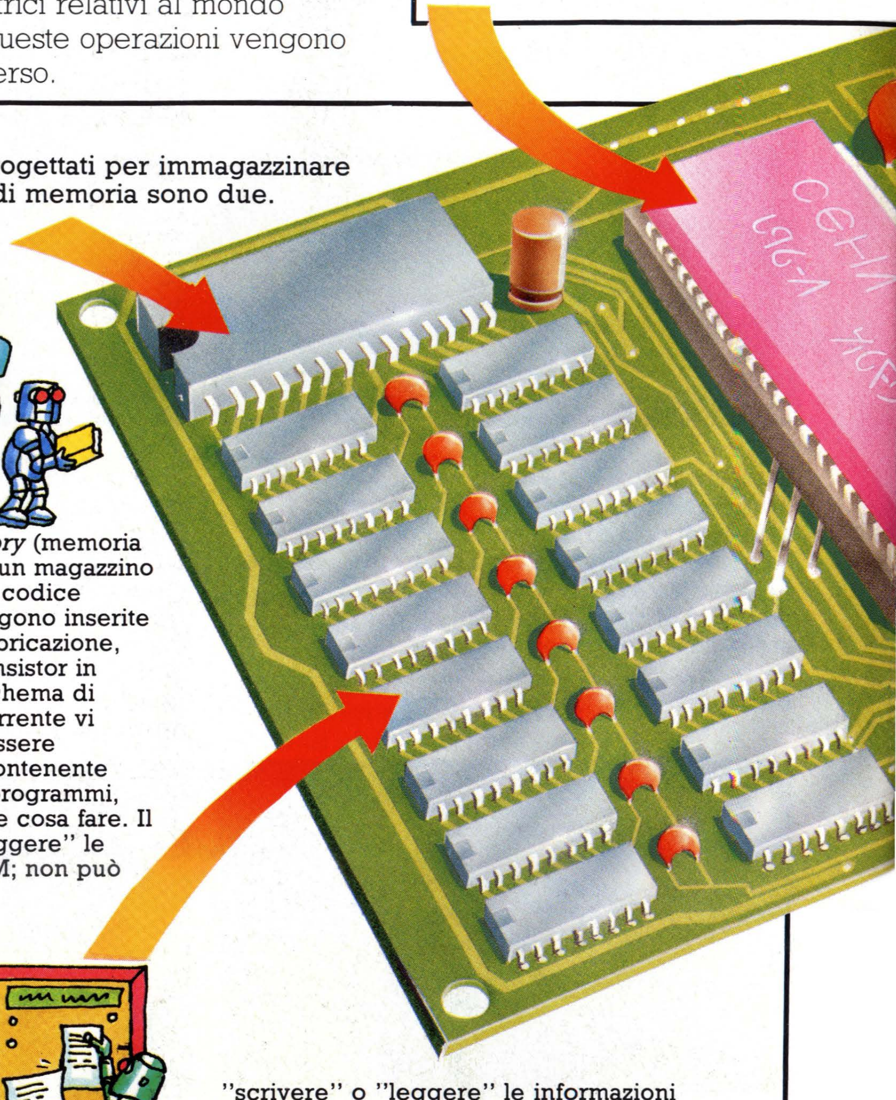
Tipi di chip

La figura sottostante mostra i principali tipi di chip di uno home computer. Il piú importante è il microprocessore, al quale di solito si riferisce chi parla "del chip" e che ha i circuiti necessari per controllare un computer, o qualsiasi altra macchina. Un microprocessore non può funzionare da solo; ma richiede circuiti con istruzioni "scritte" in un codice elettrico che gli indichino cosa fare, magazzini per contenere le informazioni durante l'esecuzione delle operazioni, codificatori e decodificatori per tradurre nel codice binario i segnali elettrici relativi al mondo esterno e viceversa. Tutte queste operazioni vengono eseguite da chip di tipo diverso.

Chip microprocessore



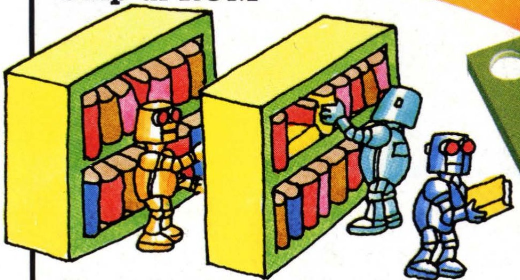
Il microprocessore è il chip che esegue i calcoli e prende le decisioni logiche necessarie per controllare una macchina. Spesso il microprocessore di un computer viene chiamato CPU, da *Central Processing Unit* (unità centrale di elaborazione).



Chip di memoria

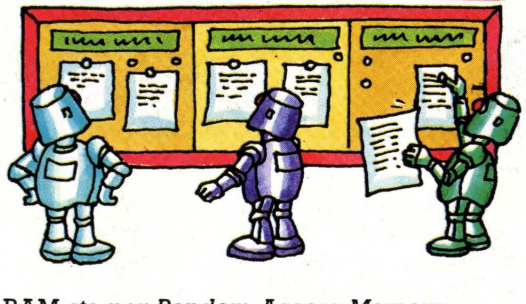
Sono provvisti di circuiti progettati per immagazzinare informazioni. I tipi di chip di memoria sono due.

Chip di ROM



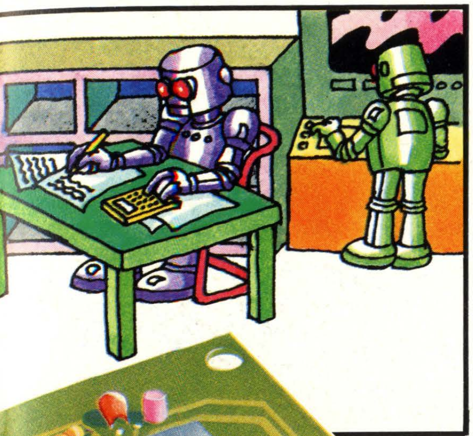
ROM sta per *Read Only Memory* (memoria di sola lettura). Questo chip è un magazzino permanente di informazioni in codice elettrico. Tali informazioni vengono inserite nel chip al momento della fabbricazione, fissando gli interruttori dei transistor in modo da produrre lo stesso schema di segnali tutte le volte che la corrente vi scorre.* Il chip di ROM può essere paragonato a una biblioteca contenente gruppi di istruzioni, chiamati programmi, che dicono al microprocessore cosa fare. Il microprocessore può solo "leggere" le informazioni di un chip di ROM; non può inserirvi nulla.

Chip di RAM



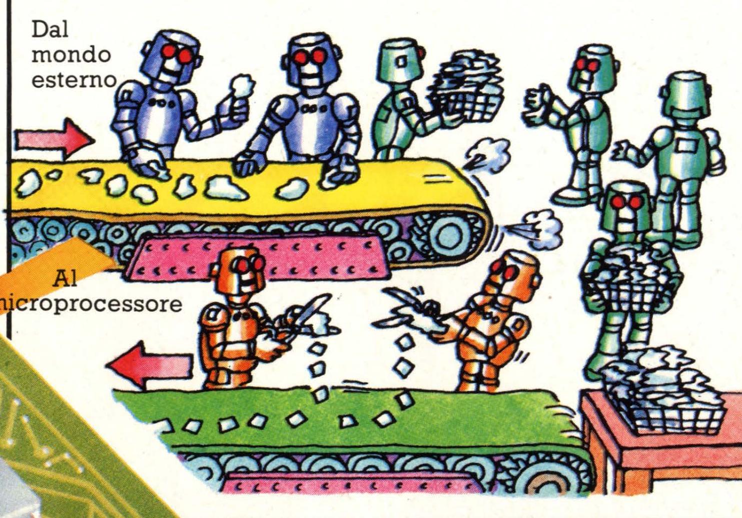
RAM sta per *Random Access Memory* (memoria ad accesso casuale), ma un nome migliore per questi chip sarebbe "memoria di lettura/scrittura". I chip di RAM sono magazzini temporanei in cui è possibile "scrivere" o "leggere" le informazioni codificate, e in seguito cancellarle quando non servono piú. Ogni volta che in un chip di RAM viene inserito un nuovo elemento informativo, gli interruttori dei suoi transistor vengono riposizionati cosí da creare uno schema di segnali che rappresenti l'informazione.
I chip di RAM possono essere paragonati a una lavagna su cui il microprocessore può registrare temporaneamanete le informazioni necessarie per una determinata operazione.

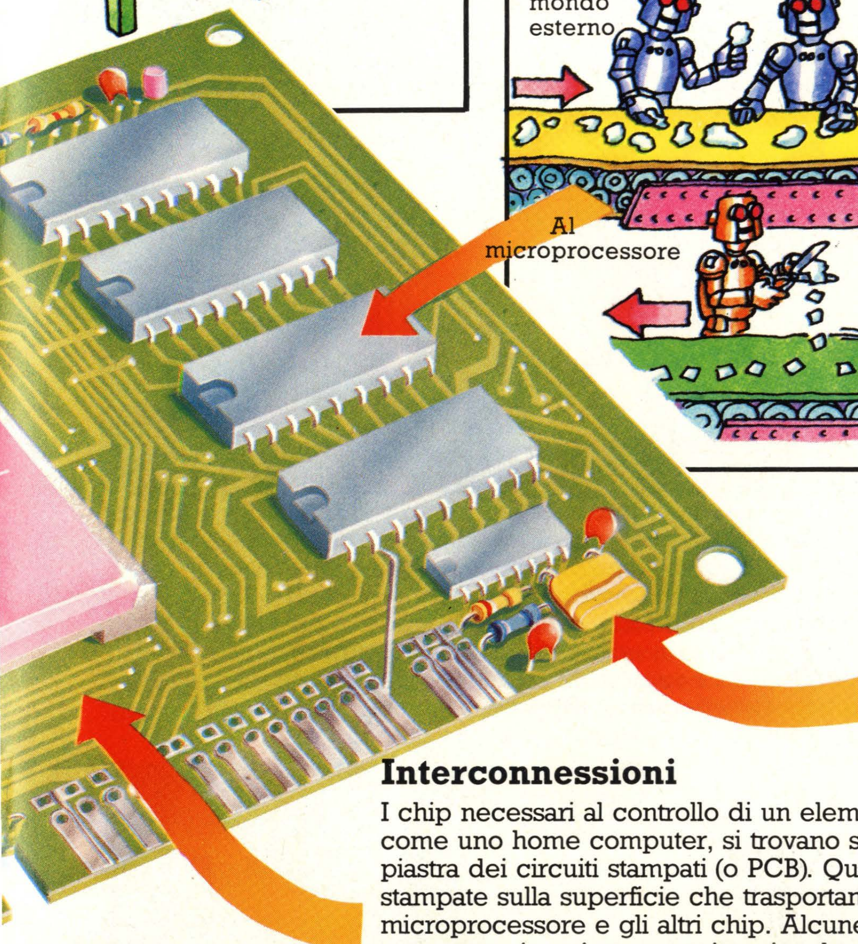
* Un chip di ROM costruito in questo modo viene chiamato "ROM programmata a maschera". A pagina 47 troverai altri tipi di ROM.



Chip di interfaccia

Questi chip modificano diversi tipi di segnali elettrici provenienti dal mondo esterno nei segnali binari 1 e 0 che il microprocessore e gli altri chip sono in grado di gestire. Traducono anche i codici binari del microprocessore nei segnali elettrici utilizzabili per il controllo dello schermo di un computer o una macchina.



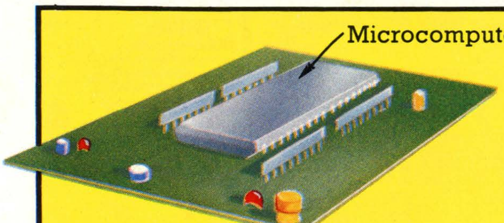


L'orologio (clock)

Un microprocessore esegue migliaia di operazioni al secondo, ma le può eseguire solo una per volta. Per regolare il flusso delle operazioni, il tempo viene scandito da un ''orologio'' (*clock*) al quarzo.

Interconnessioni

I chip necessari al controllo di un elemento di un'apparecchiatura, come uno home computer, si trovano su di una piastra chiamata piastra dei circuiti stampati (o PCB). Questa ha tracce metalliche stampate sulla superficie che trasportano i segnali elettrici fra il microprocessore e gli altri chip. Alcune tracce portano ad un connettore in cui vengono inserite altre parti della macchina da collegare alla piastra.



Chip multifunzionali

La maggior parte dei calcolatori, dei giocattoli e degli elettrodomestici, come le lavatrici, sono controllati da un unico chip che contiene tutti i circuiti di controllo, di memoria e di interfaccia. Questo tipo di chip viene chiamato microcomputer* o microprocessore dedicato. ''Dedicato'' significa che i circuiti di ROM (cioè le istruzioni) sono incorporati nel chip e quindi il microprocessore può essere utilizzato solo per le operazioni descritte in quei circuiti.

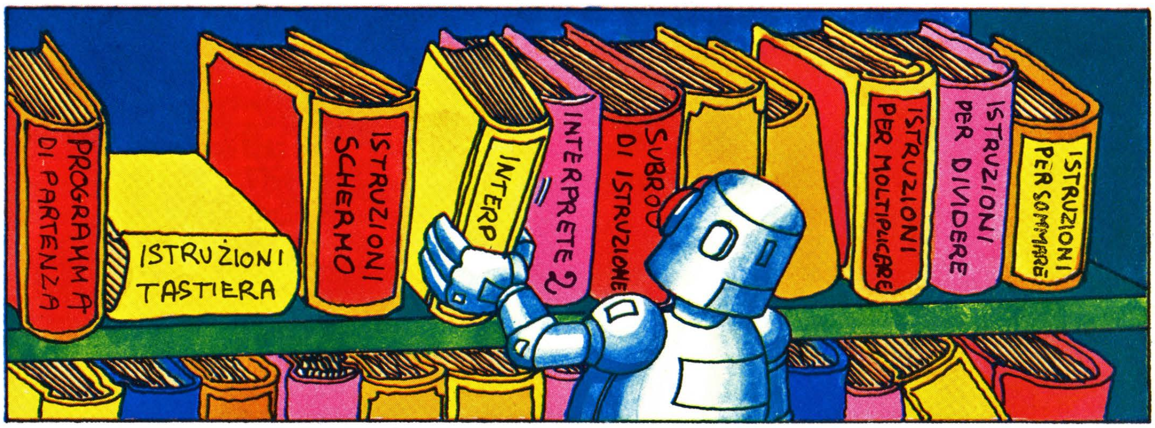
Un microprocessore normale, come quello della figura principale, non è dedicato: le sue istruzioni sono in un chip di ROM distinto che può essere cambiato perché il microprocessore svolga un compito diverso. Per esempio, un unico microprocessore può essere utilizzato per controllare un computer, un videogioco o un robot semplicemente sostituendo il chip di ROM.

* I piccoli computer ne prendono il nome.

Chip di memoria

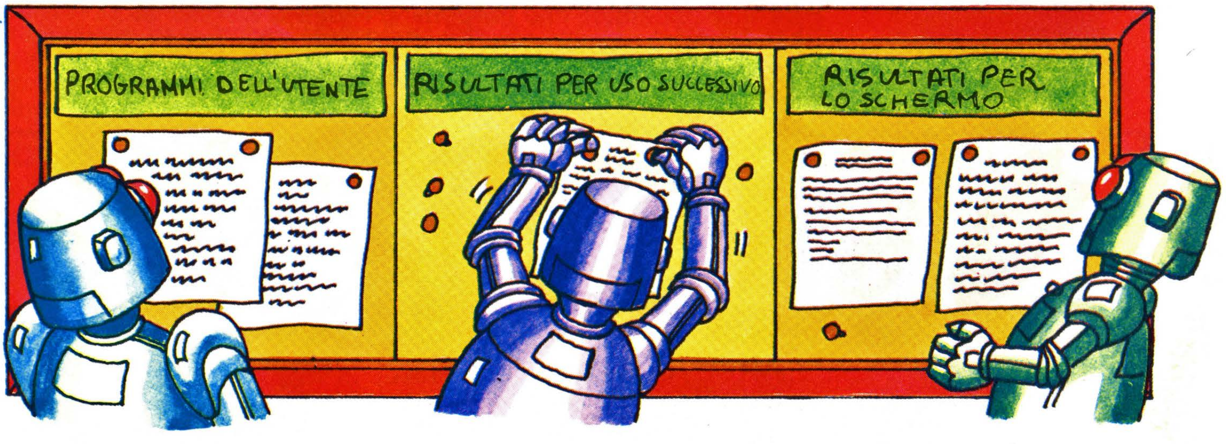
I chip di memoria vengono utilizzati per immagazzinare istruzioni e informazioni scritte in codice elettrico. Anche se un microprocessore opera ad altissima velocità, può eseguire solo un numero limitato di semplici compiti, come l'addizione di due numeri o il confronto fra due elementi informativi. Ciascun compito viene rappresentato da un codice binario a otto bit, chiamato istruzione in codice macchina: perché un microprocessore esegua un qualsiasi compito, gli si deve dare un elenco di istruzioni in codice macchina che gli spieghino quali sono le operazioni da eseguire. Questi elenchi di istruzioni, o programmi, sono immagazzinati nei chip di memoria.

Cosa contiene un chip di ROM



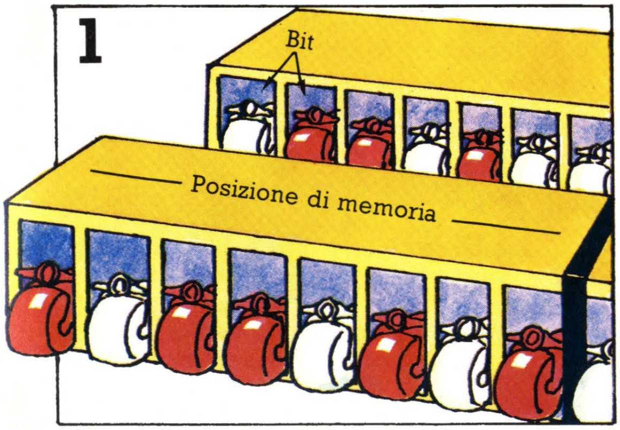
Un chip di ROM contiene i programmi che spiegano al microprocessore come controllare una macchina. Questi programmi vengono chiamati sistema operativo o monitor, e in un computer, dicono al microprocessore cosa fare al momento dell'accensione, come riconoscere quando è stato premuto un tasto, dove immagazzinare i segnali elettrici che produce, come mostrare sullo schermo parole e immagini e cosí via. Il chip di ROM di un computer contiene anche un programma, chiamato interprete, che dice al computer come tradurre le istruioni dell'utente, (inserite sotto forma di parole e numeri), in istruzioni in codice macchina.

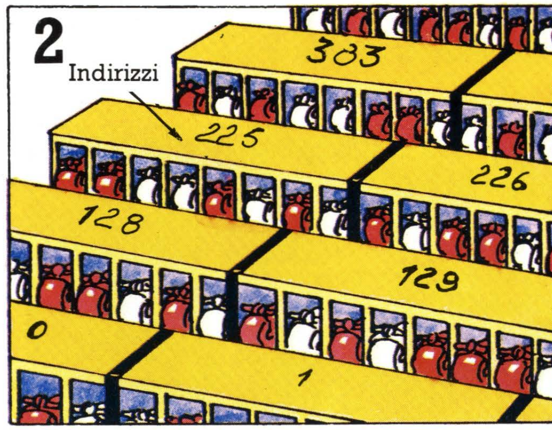
Cosa contengono i chip di RAM



I chip di RAM sono magazzini temporanei di informazioni di cui il microprocessore ha bisogno per una determinata operazione. Ad esempio, può immagazzinare il risultato di un calcolo che utilizzerà successivamente. In un computer, i programmi di istruzioni dell'utente vengono immagazzinati nei chip di RAM, dove vengono memorizzati anche i risultati delle operazioni del microprocessore, prima di apparire sullo schermo. Spesso un microprocessore copia nei chip di RAM, un programma immagazzinato permanentemente nel chip di ROM, per potervi lavorare.

Dentro un chip di memoria

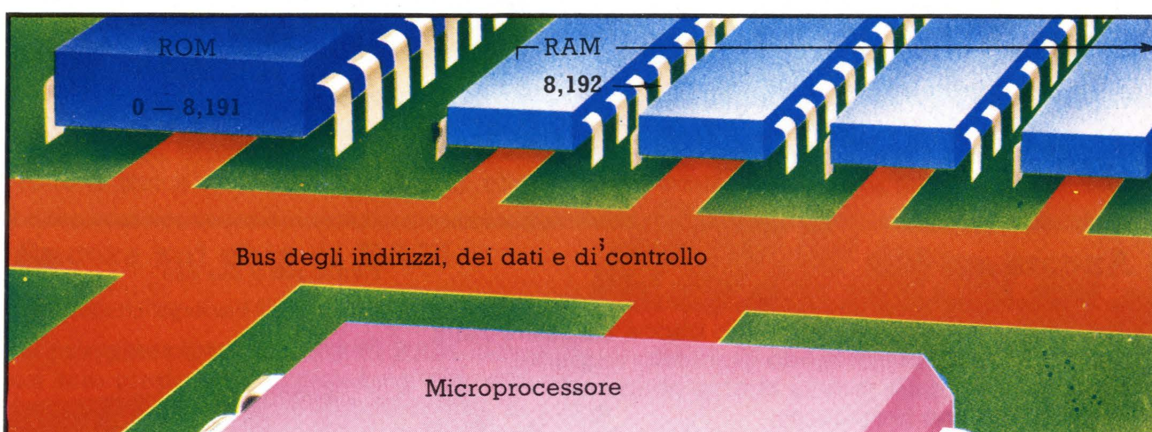




Si può immaginare che tanto i chip di ROM che quelli di RAM siano file di scaffali, ognuno dei quali può contenere un bit di dati. Per un chip, i dati sono istruzioni in codice macchina o informazioni codificate. Un gruppo di otto scaffali, in grado di contenere un byte, viene chiamato posizione di memoria. Affinché il microprocessore possa trovare le informazioni, le posizioni di memoria sono numerate, e il numero si chiama indirizzo.

Codificazione degli indirizzi

Un microprocessore non ha modo di distinguere i chip di ROM da quelli di RAM, perciò gli indirizzi delle posizioni di memoria dei chip dei due tipi non devono sovrapporsi. (Immagina che tutte le case di una città abbiano un numero diverso, e non che i numeri si ripetano associati ai nomi delle vie). I numeri cominciano da 0 nella ROM e aumentano passando ai chip di RAM.
I numeri degli indirizzi, essendo molti, sono codificati in codici binari a 16 bit: un codice a 8 bit consentirebbe solo 256 indirizzi diversi, mentre 16 bit possono essere disposti in 65.536 (2^{16}) modi diversi e fornire quindi questo numero di indirizzi distinti.

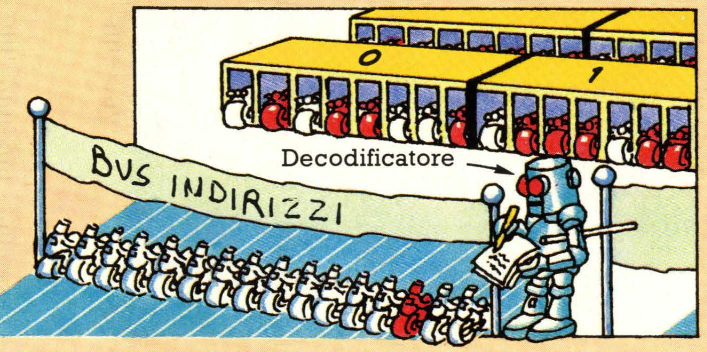


Collegamento delle memorie al microprocessore

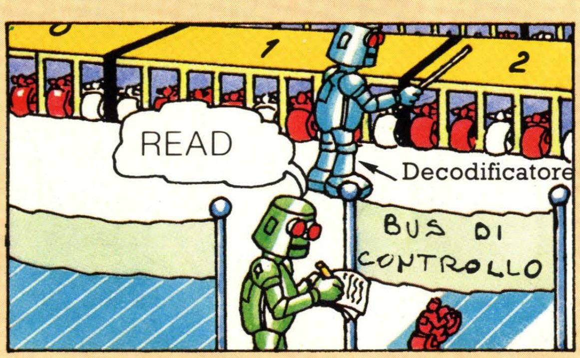
In una macchina, i chip di memoria sono collegati al microprocessore da gruppi di fili chiamati bus. Ci sono tre bus, uno per gli indirizzi, uno per i dati e un terzo per il trasferimento dei vari segnali di controllo. Il bus degli indirizzi ha 16 fili, ognuno dei quali trasporta un bit del codice dell'indirizzo. Il bus dei dati ha otto fili perché i dati (cioè le informazioni e le istruzioni) sono codificati in byte di otto bit. Il bus di controllo è un gruppo di fili che trasporta segnali tipo quello di ''Lettura/Scrittura'' che dice al chip di memoria se i dati relativi a una posizione di memoria devono essere letti o inseriti.

Come funzionano i chip di memoria

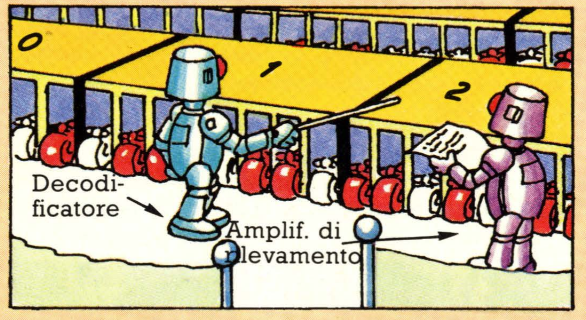
Le figure sottostanti mostrano come le informazioni e le istruzioni passano dai chip di memoria al microprocessore e viceversa.



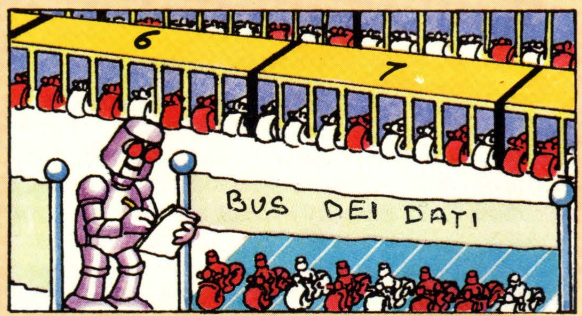
Quando il microprocessore vuole esaminare le informazioni di una determinata posizione di memoria, invia al chip di memoria, attraverso il bus degli indirizzi, il codice dell'indirizzo di quella posizione. Quando il codice arriva, i circuiti di decodifica sul chip di memoria leggono il gruppo di segnali e indicano la posizione di memoria desiderata.



Un segnale sul bus di controllo specifica se la posizione della memoria va "letta" o vi si deve "scrivere". Le posizioni di memoria dei chip di ROM possono essere solo lette, ma nei chip di RAM il microprocessore può leggere le informazioni contenute o inserirne altre.



Se il segnale di controllo dice "leggi" (*read*), circuiti chiamati amplificatori di rilevamento leggono il codice immagazzinato nella posizione di memoria



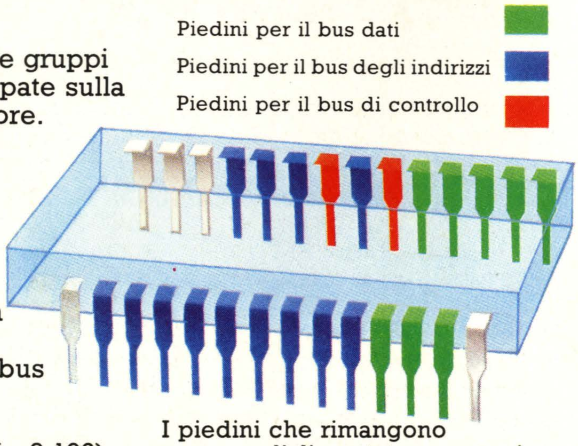
e ne inseriscono una copia nel bus dei dati. (Il codice viene duplicato, non esce dalla posizione di memoria.)

Ancora sui bus

La cosa piú semplice è considerare i bus come gruppi di fili paralleli, ma in effetti sono tracce stampate sulla piastra dei circuiti nel modo giudicato migliore. I bus arrivano dalla piastra al chip attraverso i piedini del suo involucro.

La figura a destra mostra un chip di ROM con 28 piedini: otto sono per il bus dei dati a otto bit, mentre i piedini del bus degli indirizzi sono solo 13, perché un chip non ha 65.536 posizioni di memoria e quindi non ha bisogno di tutti gli indirizzi ottenibili con un bus a 16 bit. In effetti questo chip ha 8.192 posizioni di memoria, quindi richiede solo 13 linee per produrre tutti i suoi indirizzi ($2^{13} = 8.192$).

Piedini per il bus dati
Piedini per il bus degli indirizzi
Piedini per il bus di controllo

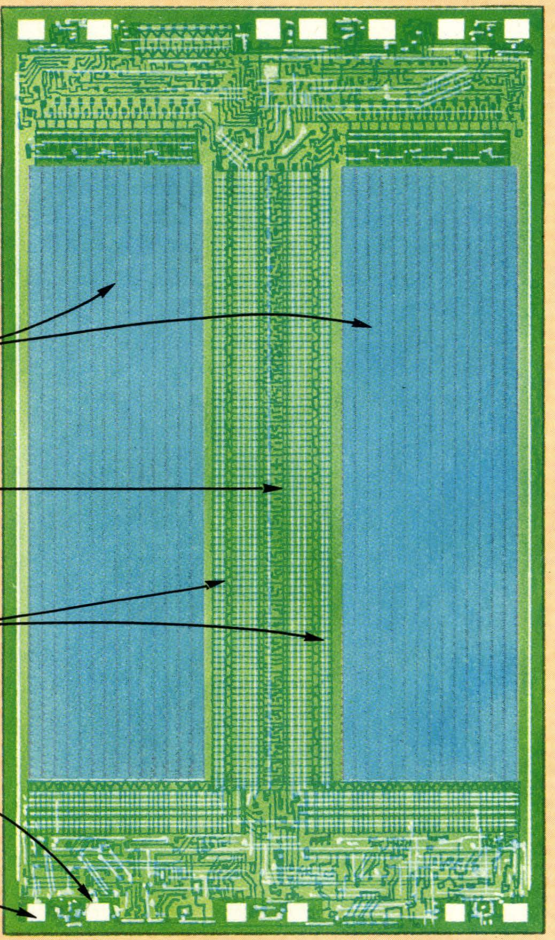


I piedini che rimangono sono per l'alimentatore

Come appare un chip di memoria

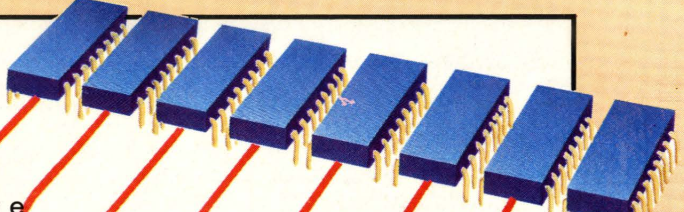
La figura sottostante mostra un chip di RAM molto ingrandito, per far vedere che i circuiti sono disposti in due blocchi, formati da migliaia di circuiti identici, chiamati celle di memoria, disposti in righe e in colonne. Ogni cella di memoria è costituita, di solito, da sei componenti elettriche e può contenere un bit; una posizione di memoria è composta da otto celle.

Il bus dei dati passa fra i due blocchi di celle, cosí che il segnale relativo a una cella deve percorrere la minor distanza possibile per raggiungerlo. Si tratta di un fattore importante perché agisce sul "tempo di accesso" del chip, che è quello impiegato da un elemento informativo per andare dalla memoria al microprocessore; un tempo di accesso tipico è di 200 nanosecondi.



La dimensione dei chip di memoria viene abitualmente misurata dal numero di *bit* (non di byte) che possono contenere. Il chip della figura può contenere 16.384 bit (perché ci sono due blocchi di 128 colonne e 64 righe ciascuno). Questo numero viene scritto sotto la forma di 16k (k sta per kilo, che equivale a 1024 nel linguagio dei computer).*

Ancora sui chip di RAM



La maggior parte dei chip di RAM hanno un solo piedino per i dati. In una macchina, i chip di RAM sono disposti a gruppi di otto e i byte dei dati sono suddivisi in modo che ognuno degli otto chip contenga un bit. Questo perché originariamente i chip avevano molte meno celle di memoria e quindi richiedevano meno indirizzi. Con il miglioramento delle tecniche di produzione, il numero delle celle di memoria in un chip è aumentato e quindi è aumentato il numero dei piedini necessari per gli indirizzi. I costruttori non hanno voluto aumentare il numero dei piedini sull'involucro dei chip, perché questo li avrebbe resi piú costosi, cosí hanno ridotto a uno il numero dei piedini dei dati e usano i chip a gruppi di otto.

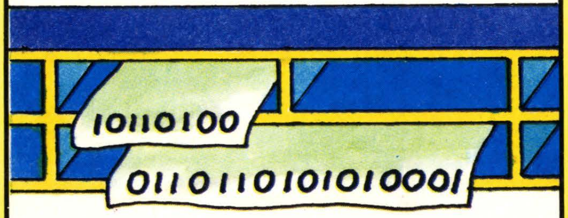
* Una K maiuscola significa kilo*byte* e spesso le dimensioni dei chip di memoria, specialmente di quelli di ROM, vengono espresse in kilobyte. Per esempio, il chip di ROM nella pagina a fronte è di 8K perché contiene 8.192 (8X1.024) byte.

Un chip microprocessore

Questa figura mostra i circuiti di un microprocessore, ovvero il chip in grado di controllare una macchina come un robot o un computer. Un microprocessore controlla una macchina inviandole segnali elettrici ed elaborando (*processing*) le informazioni che la macchina gli rimanda. I programmi di istruzioni immagazzinati nei chip di memoria dicono al microprocessore quali segnali inviare, come ricevere le informazioni che gli arrivano e come elaborarle. Qui sotto troverai ulteriori informazioni sui programmi.
I circuiti di un microprocessore possono essere suddivisi in tre categorie principali: circuiti di controllo, registri e circuiti ALU. ALU sta per *Arithmetic Logic Unit* (unità logico-aritmetica) ed è dove vengono svolte le operazioni principali.



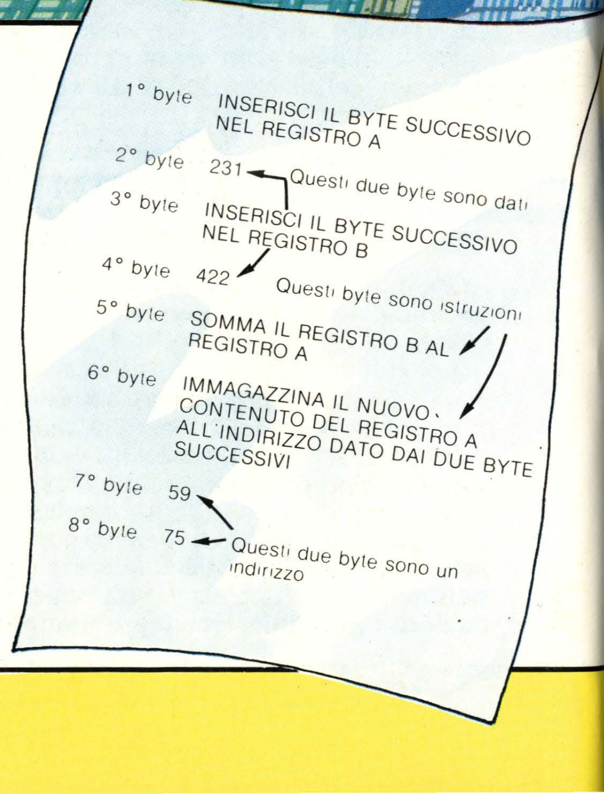
Registri



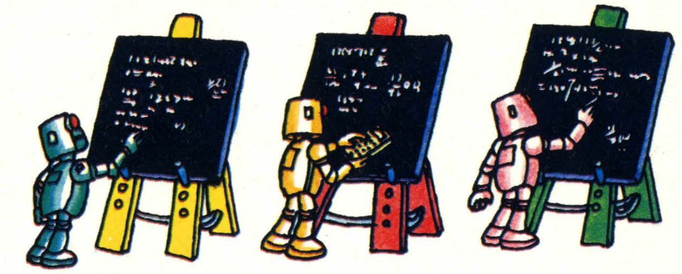
I registri sono come posizioni di memoria all'interno del microprocessore. Alcuni hanno otto scaffali e possono contenere un byte, altri ne hanno sedici e possono contenere due byte. I registri servono per immagazzinare all'interno del microprocessore, durante l'elaborazione, le informazioni e le istruzioni, e anche per contenere gli indirizzi che stanno per essere inviati ai chip di memoria. Alcuni registri, come il contatore del programma, svolgono compiti molto specifici. Nelle pagine che seguono i registri verranno trattati ulteriormente.

Ancora sui programmi

Ogni compito che un microprocessore deve svolgere viene suddivisio in una sequenza di operazioni semplici, per ognuna delle quali è necessaria un'istruzione, espressa in codice elettrico. A destra puoi vedere un esempio del genere di istruzioni richieste da un microprocessore, scritte in italiano e con numeri decimali perché tu possa capirle. Un programma è una serie di istruzioni per svolgere un determinato compito e ciascuna istruzione è data da un codice binario a otto byte. Di solito le istruzioni sono seguite dalle informazioni, o da un indirizzo al quale trovarle. Anche queste sono espresse in binario e formano parte del programma. Gli indirizzi sono lunghi 16 bit, quindi occupano due byte di un programma.

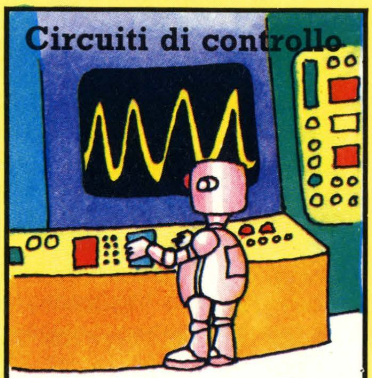


Unità logico-aritmetica

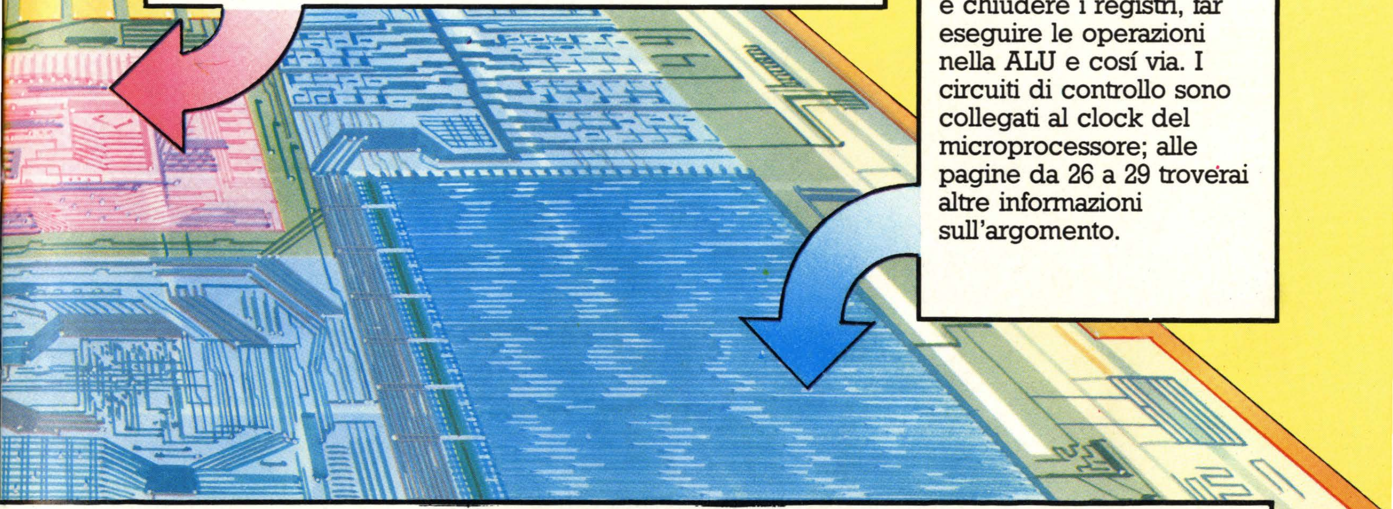


E' la parte del microprocessore in cui vengono svolti i calcoli e prese le decisioni logiche necessarie per controllare una macchina. Questo si ottiene manipolando i codici binari tramite circuiti che li modificano in modi particolari. In effetti, i circuiti elettronici possono effettuare solo un limitato numero di semplici operazioni logiche: tutti i calcoli e le decisioni derivano da una loro combinazione. Alle pagine da 34 a 41 vedrai come avviene tutto ciò.

Circuiti di controllo



Circa i due terzi della superficie di un microprocessore è occupata dai circuiti di controllo. Sono loro che organizzano tutto il lavoro del microprocessore inviando segnali per aprire e chiudere i registri, far eseguire le operazioni nella ALU e cosí via. I circuiti di controllo sono collegati al clock del microprocessore; alle pagine da 26 a 29 troverai altre informazioni sull'argomento.

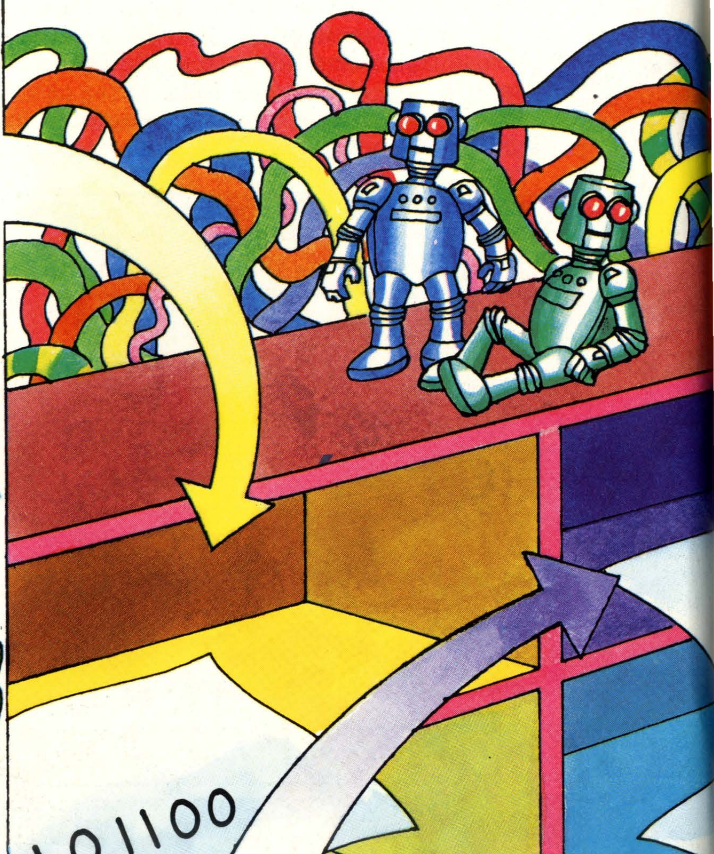




Questa figura mostra come il programma a sinistra verrebbe memorizzato in un chip di memoria. Ciascun byte del programma è un codice di otto segnali elettrici immagazzinati in una posizione della memoria. Quando un microprocessore lavora, prende i byte di un programma, uno dopo l'altro, in ordine numerico. In base alla posizione che un byte occupa nel programma, il microprocessore è in grado di distinguere solo se è un'istruzione, un indirizzo o un dato. Per esempio, il primo byte di un programma è sempre un'istruzione. Se un programmatore, per errore, mette un byte di dati in prima posizione, il microprocessore lo considera un'istruzione e l'intero programma non funziona.

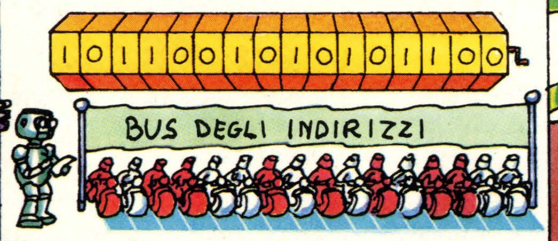
I registri

Circa un decimo della superficie di un microprocessore è occupata da registri, che sono magazzini temporanei per informazioni, istruzioni e indirizzi durante i loro spostamenti all'interno del chip. Quelli che verranno descritti adesso svolgono un ruolo particolare nel funzionamento del microprocessore. I registri funzionano come le posizioni di memoria di un chip di RAM: vi si possono leggere i dati, o vi si possono scrivere. Leggerne i dati significa copiarli, non toglierli dal registro: i dati vengono rimossi da un registro solo quando vi si scrivono sopra altre informazioni.

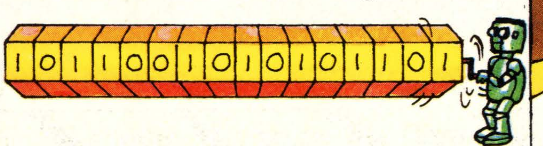


Il contatore del programma

Il contatore del programma è un registro a 16 bit; i numeri binari che contiene sono indirizzi. Il suo compito è di mostrare l'indirizzo successivo di ciascun dato o istruzione, perché il programma proceda nell'ordine desiderato.



All'inizio del programma, il contatore contiene l'indirizzo della prima istruzione (cioè del primo byte del programma), che viene inserito nel bus degli indirizzi.



Mentre l'istruzione viene presa ed eseguita, il valore nel contatore del programma aumenta automaticamente di uno, cosí da contenere l'indirizzo del byte successivo (come il contatore di un registratore a cassette); questa operazione è chiamata incrementazione.

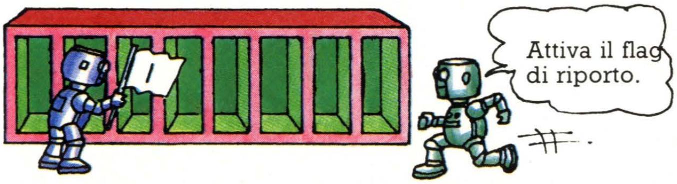
Il contatore del programma continuerà a mostrare indirizzi in ordine numerico finché non gli viene detto di saltare a un indirizzo diverso, dal quale il contatore riprenderà a contare.

Registro di istruzione

Ogni istruzione che arriva al microprocessore dai chip di memoria viene inviata a questo registro a otto bit e poi eseguita dai circuiti di controllo. Un'istruzione rimane nel registro di istruzione finché non viene sostituita dalla successiva.

Registro di flag

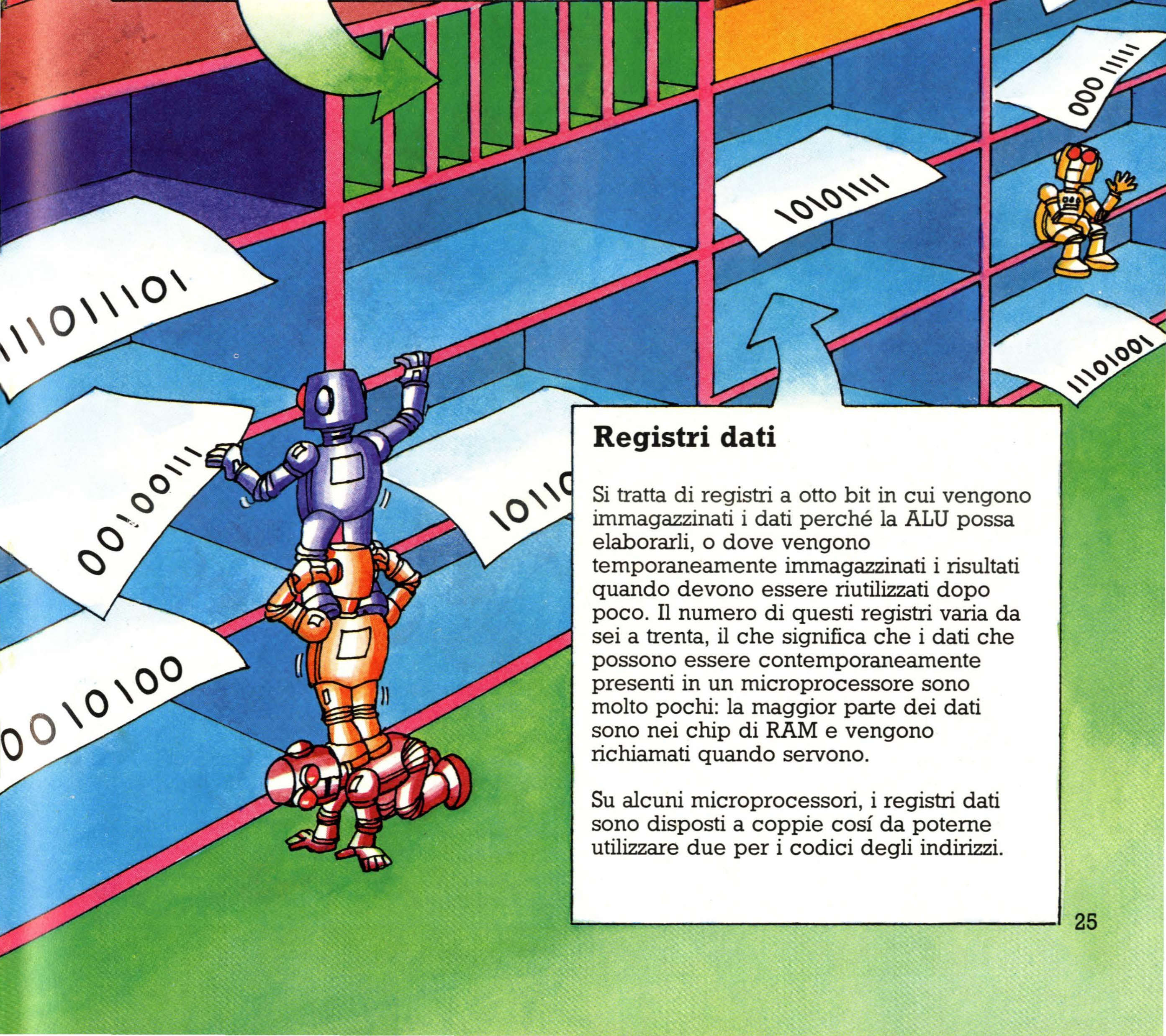
E' un registro a otto bit, ognuno dei quali viene utilizzato separatamente dalla ALU per indicare che si è verificato un determinato evento. Ogni bit del registro viene chiamato *flag* (indicatore) e si riferisce a un evento diverso. Se il bit è 1 (voltaggio elevato), il flag è ''attivo'', ad indicare che l'evento si è verificato; se il bit è 0 (voltaggio basso), mostra che l'evento non si è verificato.



Per esempio, uno dei flag si chiama flag di riporto o di overflow e viene utilizzato dalla ALU durante le addizioni: se il risultato della somma di due numeri binari è piú lungo di otto bit (e quindi non entra nell'accumulatore) la ALU lo indica attivando il flag di riporto.

Accumulatore

E' un registro a otto bit collegato alla ALU, che se ne serve quando effettua i calcoli. Per esempio, per addizionare due numeri, la ALU ne deve inserire uno nell'accumulatore. Quando l'operazione è stata eseguita, la risposta viene inviata all'accumulatore dove sostituisce il numero precedente. Il nome di questo registro deriva dal fatto che spesso si dice che ''accumula'' i risultati.



Registri dati

Si tratta di registri a otto bit in cui vengono immagazzinati i dati perché la ALU possa elaborarli, o dove vengono temporaneamente immagazzinati i risultati quando devono essere riutilizzati dopo poco. Il numero di questi registri varia da sei a trenta, il che significa che i dati che possono essere contemporaneamente presenti in un microprocessore sono molto pochi: la maggior parte dei dati sono nei chip di RAM e vengono richiamati quando servono.

Su alcuni microprocessori, i registri dati sono disposti a coppie cosí da poterne utilizzare due per i codici degli indirizzi.

I circuiti di controllo

I circuiti di controllo di un microprocessore sono come il comandante di una nave che dica a tutti cosa va fatto e quando. Ogni istruzione in codice macchina che arriva al registro istruzione comporta molte piccole operazioni distinte, come l'apertura e la chiusura di registri, il prendere dati dalla memoria e cosí via. I circuiti di controllo inviano segnali perché tutte queste operazioni vengano effettuate nell'ordine e al momento giusti. Le loro operazioni vengono regolate dal clock del microprocessore sul quale puoi saperne di piú voltando pagina.



Come vengono decodificate le istruzioni

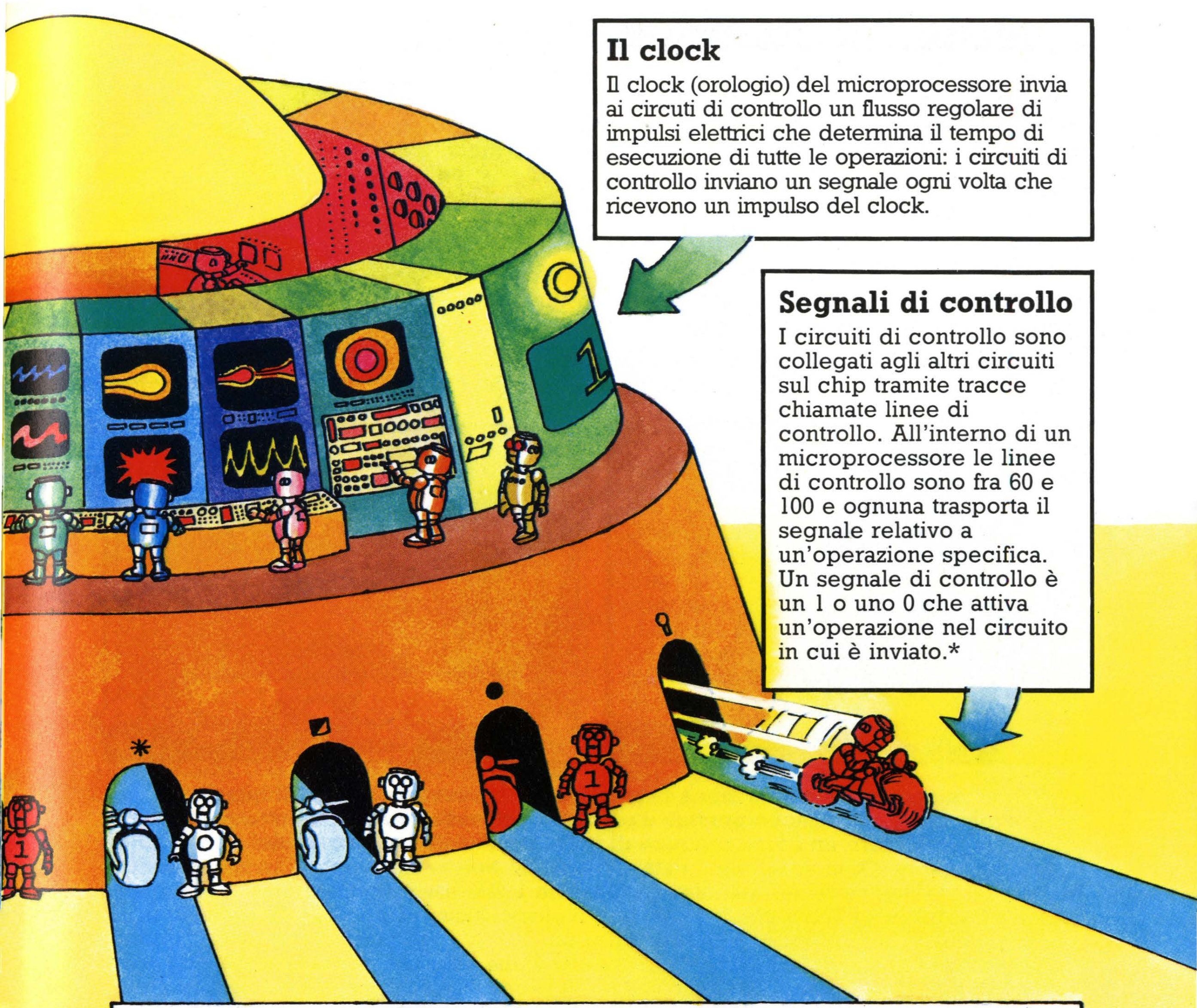
I circuiti di controllo hanno al loro interno un elenco di tutte le istruzioni in codice macchina che il microprocessore è in grado di capire: questo elenco costituisce l'insieme di istruzioni del microprocessore. Il loro numero varia da 70 a 150, secondo i tipi.
I circuiti di controllo contengono un piccolo gruppo di circuiti di memoria, chiamati microprogramma di ROM, nei quali è immagazzinata una sequenza di segnali per ogni istruzione dell'insieme. Questi segnali di controllo fanno sí che il microprocessore esegua le istruzioni in codice macchina.
Quando un'istruzione in codice macchina arriva al registro di istruzione, il suo gruppo di segnali 0 e 1 costituisce l'indirizzo per individuare la posizione nel microprogramma di ROM in cui sono immagazzinati i segnali di controllo per quella istruzione.

Il clock

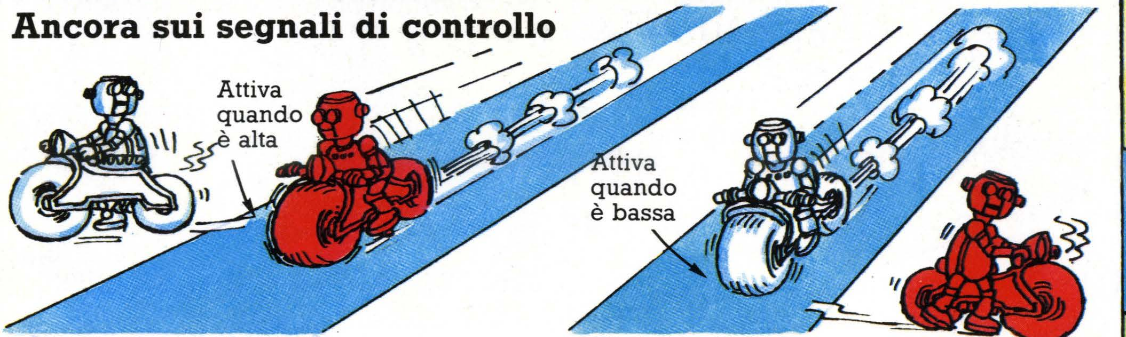
Il clock (orologio) del microprocessore invia ai circuti di controllo un flusso regolare di impulsi elettrici che determina il tempo di esecuzione di tutte le operazioni: i circuiti di controllo inviano un segnale ogni volta che ricevono un impulso del clock.

Segnali di controllo

I circuiti di controllo sono collegati agli altri circuiti sul chip tramite tracce chiamate linee di controllo. All'interno di un microprocessore le linee di controllo sono fra 60 e 100 e ognuna trasporta il segnale relativo a un'operazione specifica. Un segnale di controllo è un 1 o uno 0 che attiva un'operazione nel circuito in cui è inviato.*



Ancora sui segnali di controllo



In termini elettronici, un segnale binario 1 corrisponde a un voltaggio elevato, mentre un segnale 0 è un voltaggio basso. Normalmente, una linea di controllo ha quasi sempre un voltaggio basso, mentre un segnale operativo viene dato rendendo il voltaggio elevato. (come per l'invio di un segnale binario 1.) Si dice che la linea di controllo è attiva quando è alta.

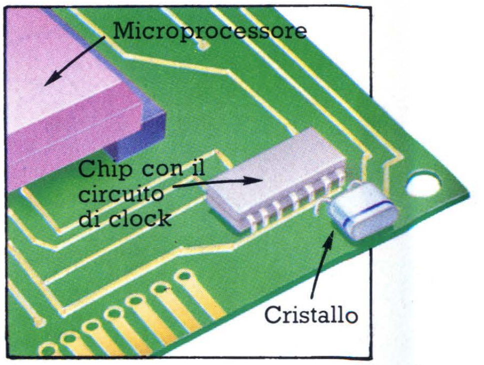
Però può anche essere vero l'opposto, cioè che la linea di controllo sia attiva quando è bassa. Questo significa che il voltaggio della linea è quasi sempre elevato e che deve diventare basso (segnale binario 0) perché succeda qualcosa. In effetti tutti i segnali 0 e 1 del codice del chip sono rispettivamente voltaggi bassi e alti.

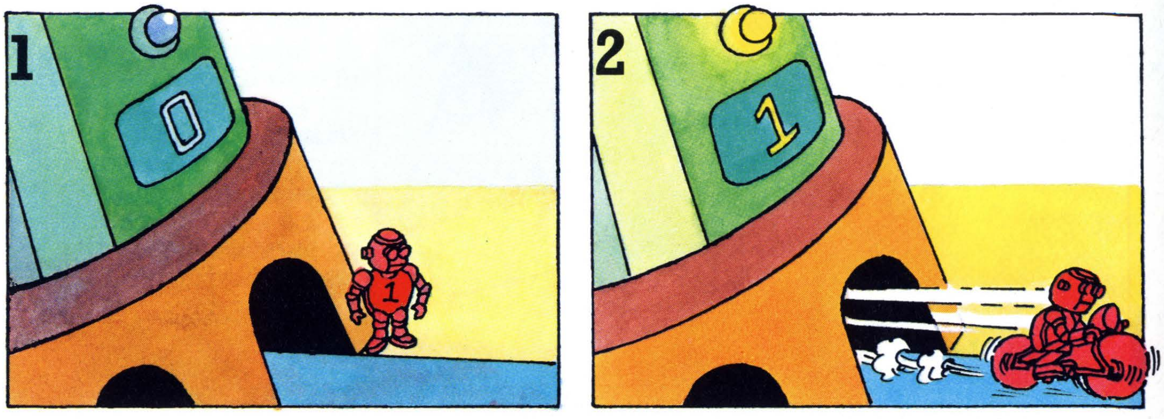
* Alcune linee di controllo formano il bus di controllo che trasporta i segnali ai chip all'esterno del microprocessore, per esempio a quelli di memoria.

Il clock del microprocessore

Tutte le minuscole operazioni elettroniche che si svolgono all'interno dei circuiti di un chip devono essere attivate da un segnale di controllo. I segnali di controllo, a loro volta, sono attivati dal clock del microprocessore.

Il clock è costituito da un gruppo di circuiti collegati a una sottile fetta di cristallo di quarzo; i circuiti possono essere sul microprocessore o su un chip di clock separato, mentre il cristallo di quarzo è sempre separato perché è grande quanto un chip.

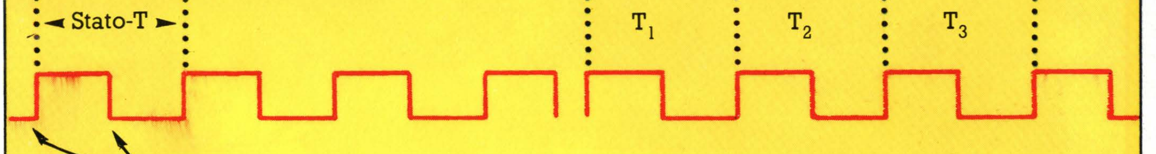




Quando una corrente elettrica viene fatta passare attraverso il cristallo di quarzo, questo vibra a un ritmo molto preciso e regolare. I circuiti del clock sfruttano queste vibrazioni per inviare un flusso regolare di impulsi all'unità di controllo del microprocessore. Ogni volta che l'unità di controllo riceve un impulso, invia un segnale, e in qualche punto del microprocessore viene eseguita un'operazione. Senza un impulso del clock nulla può accadere se il clock saltasse un impulso, tutti i circuiti del chip rimarrebbero bloccati per quell'istante.

La frequenza alla quale il clock invia gli impulsi viene misurata in megahertz e controlla la velocità di funzionamento del microprocessore. Un megahertz corrisponde a un milione di impulsi al secondo; il clock di un microprocessore può vibrare fra i due e i quattro megahertz, il che significa che il microprocessore effettua fino a quattro milioni di minuscole operazioni al secondo.*

Ancora sul clock



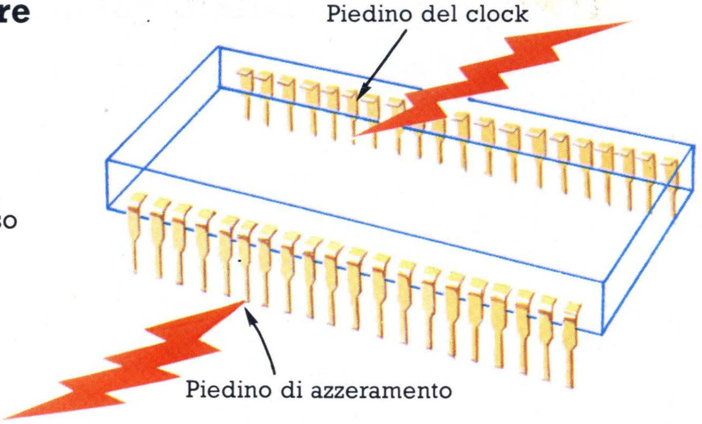
Il flusso di impulsi del clock viene abitualmente rappresentato da una linea come questa, chiamata onda quadra. La parte della linea che va verso l'alto rappresenta un impulso, e l'intervallo di tempo fra quell'impulso e il successivo (il successivo segmento verso l'alto) viene chiamato ciclo di clock o stato-T.

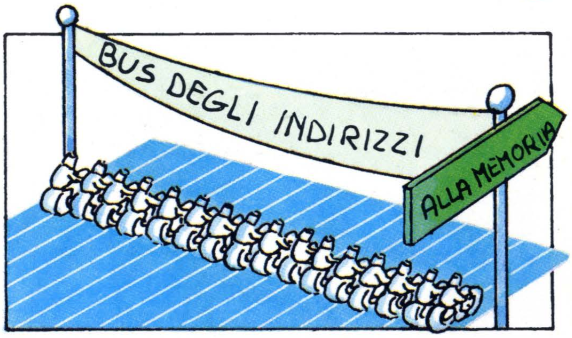
Gli ingegneri e i programmatori misurano in stati-T il tempo impiegato dal microprocessore per eseguire un'istruzione in linguaggio macchina. Il numero di stati-T corrisponde a quello delle operazioni elettroniche richieste dall'operazione: può andare da quattro a venti, secondo la complessità dell'operazione.

* Cioè, uno ogni 250 nanosecondi

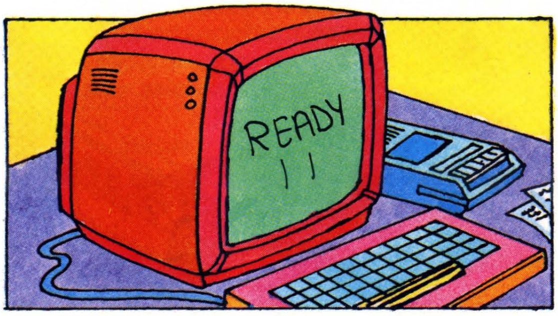
Come un chip inizia a lavorare

Quando una macchina controllata da un microprocessore viene accesa, la prima cosa che succede è che un segnale elettrico viene inviato direttamente al contatore di programma per portarlo a zero: è il segnale di azzeramento (*reset*), che giunge al microprocessore attraverso un piedino. Non appena è stato inviato questo segnale, il clock parte e a sua volta genera i segnali dei circuiti di controllo.





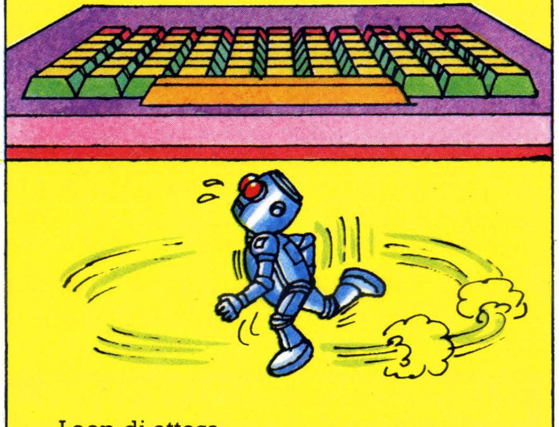
I primi segnali di controllo inseriscono il numero che è nel contatore di programma (che è zero, 0000 0000 0000 0000 in binario) nel bus degli indirizzi e inseriscono il byte che trovano a quell'indirizzo nel registro di istruzione. Il numero binario 0000 0000 0000 0000 è sempre l'indirizzo della prima posizione di memoria del chip di ROM; il byte in essa contenuto è il primo di una serie di istruzioni che preparano la macchina all'uso.



In un computer, preparare la macchina implica la cancellazione di tutte le posizioni di memoria dei chip di RAM, l'esecuzione di un test per controllare che immagazzinino i segnali elettrici in modo corretto, l'esame di tutti gli indirizzi di input e di output per vedere se vi sono collegate apparecchiature e infine il mostrare un messaggio sullo schermo per far sapere agli utenti che possono iniziare a scrivere programmi.

Ammazzare il tempo

Quando una macchina è accesa, il clock pulsa, quindi il microprocessore deve fare qualcosa (anche se non ci sono operazioni da eseguire). Per impedire che il microprocessore corra alla cieca da un programma all'altro, nei programmi di controllo dei chip di ROM vengono inserite routine speciali, chiamate "loop di attesa". Questi continuano a far ripetere al microprocessore una serie di istruzioni finché non si presenta qualcosa di diverso da eseguire.

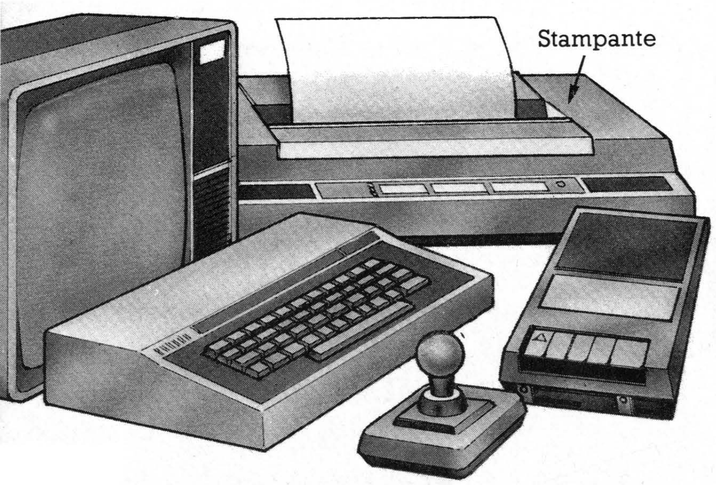


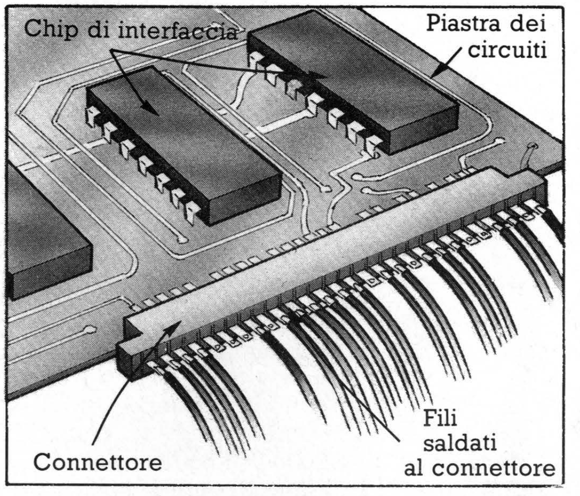
Loop di attesa

Uno dei loop di attesa di uno home computer è una serie di controlli per vedere se è stato premuto un tasto: tutte le volte che il microprocessore non ha nient'altro da fare, i programmi di controllo lo mandano a effettuare quel test: si valuta che il microprocessore di un computer passi il 98% del tempo a guardare la tastiera.

Come entrano ed escono le informazioni

Un microprocessore è utile solo se può essere collegato in qualche modo all'esterno, cosí da inviare i propri segnali e ricevere informazioni. Un microprocessore che controlli un computer o per esempio un gioco da bar, deve poter essere in grado di ricevere le istruzioni dell'utente e mostrare i risultati dopo averle eseguite. Un microprocessore che controlli una macchina come il braccio di un robot o una lavatrice deve far muovere la macchina e ricevere informazioni su quello che sta facendo (questo si chiama "feedback"). Le parti dell'apparecchiatura che traducono le informazioni del "mondo reale" in segnali elettrici e viceversa si chiamano dispositivi di input e di output.



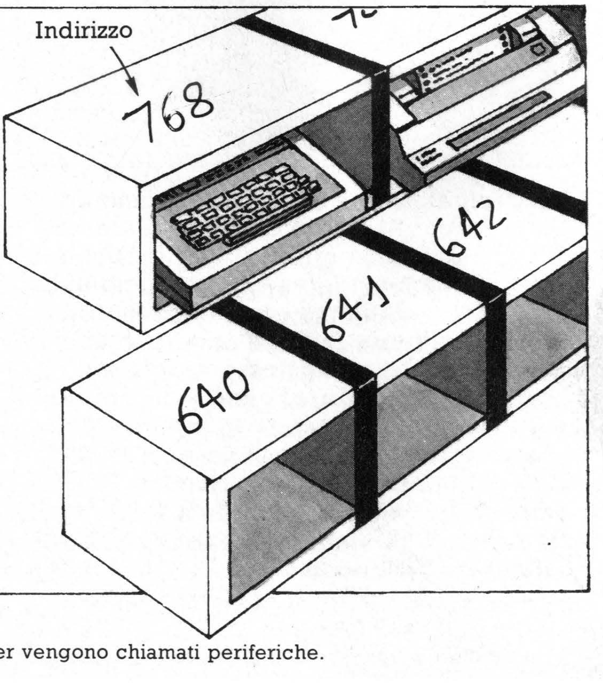


Il dispositivo di input (immissione) di un microcomputer può essere una tastiera, un registratre a cassette o un joystick, mentre quello di output (emissione) uno schermo TV o una stampante.* Su altre macchine, gli input possono essere "sensori" che traducono in segnali elettrici quantità fisiche, come calore, velocità o portata di un liquido, mentre gli output sono motori che trasformano in movimento i segnali elettrici.

Le apparecchiature di input e di output sono collegate al microprocessore da fili, normalmente saldati a spine lunghe e sottili che si inseriscono al bordo della piastra con i circuiti stampati. Molti dispositivi di input e di output utilizzano segnali diversi da quelli binari, quindi vengono usati chip speciali, chiamati chip di interfaccia, che trasformano in binario i segnali elettrici degli input e viceversa.

Riconoscimento dei dispositivi di input e di output

Un microprocessore non può sapere quali siano i dispositivi di input e di output a esso collegati, né dove siano. Affinché il chip possa scambiarvi informazioni, tali dispositivi gli vengono fatti apparire come posizioni di memoria contenenti un byte di dati. Ogni dispositivo di input e di output ha il proprio indirizzo ed è collegato ai bus degli indirizzi, dei dati e di controllo: le informazioni inviate e ricevute dagli input e dagli output sono uguali a quelle relative alle posizioni di memoria. Alcuni dispositivi di output hanno due indirizzi, uno al quale il microprocessore invia i dati e un altro, chiamato indirizzo di stato, dal quale il microprocessore può ottenere informazioni sul dispositivo.



* Spesso i dispositivi di input e di output di un computer vengono chiamati periferiche.

Trasformazione dei segnali

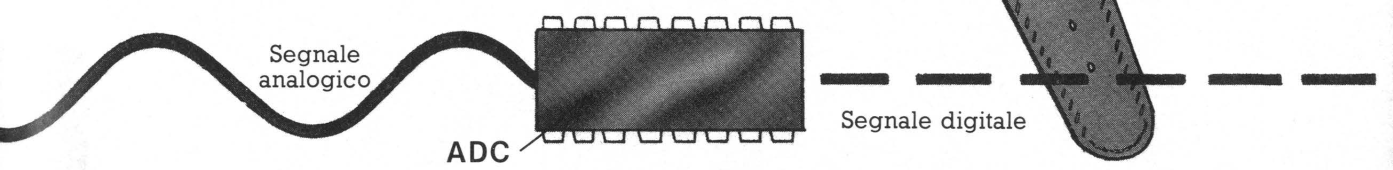
Riportiamo qui sotto alcuni esempi dei diversi segnali elettrici generati da dispositivi di input e di come questi vengano trasformati per essere utilizzati dal microprocessore.

Da analogico a digitale

Il segnale elettrico generato dalla tastiera di un computer è completamente diverso da quello prodotto, per esempio, da un sensore termico. Su una tastiera, ogni tasto genera un segnale distinto che è presente quando il tasto viene premuto, o non lo è, quando non è premuto. Questi segnali sono chiamati digitali. Il segnale proveniente da un sensore termico o segnale analogico è sempre presente, ma varia continuamente con il variare della temperatura.

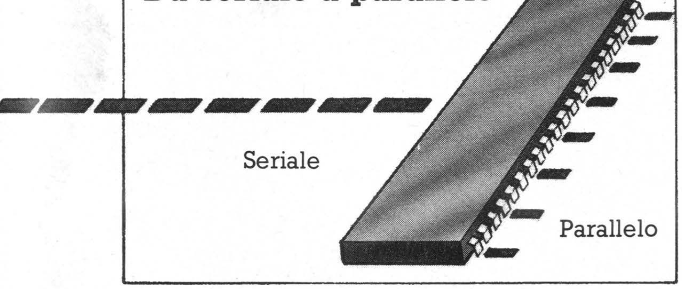


Un orologio meccanico è analogico, perché l'ora viene mostrata da lancette che si muovono continuamente sul quadrante. Un orologio elettronico è digitale perché mostra il tempo come una serie di piccoli salti distinti.



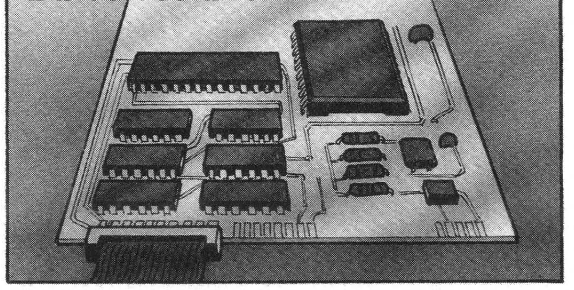
Un microprocessore è in grado di gestire solo segnali digitali, che sono 0 e 1, senza stadi intermedi. Perché un'informazione analogica, come una temperatura o una velocità, possa essere inviata a un microprocessore, dev'essere trasformata in forma digitale. Questo viene ottenuto facendo passare il segnale analogico attraverso un chip di interfaccia chiamato convertitore analogico-digitale (o ADC). L'ADC misura il segnale analogico a intervalli regolari (per esempio mille volte al secondo), generando una serie di valori che vengono codificati in binario e inviati al microprocessore.

Da seriale a parallelo



I segnali elettrici che rappresentano i dati si spostano all'interno del microprocessore a gruppi di otto, ognuno con una traccia riservata, e vengono detti "paralleli". In alcune apparecchiature, invece, i segnali elettrici viaggiano uno dopo l'altro lungo una sola traccia, e questi sono "seriali". Le cassette dei registratori contenenti programmi per computer immagazzinano i byte dei dati in serie, per cui, prima di arrivare al microprocessore, i programmi passano attraverso un chip di interfaccia che invia i segnali seriali in parallelo. Il chip viene chiamato convertitore seriale-parallelo.

Da veloce a lento

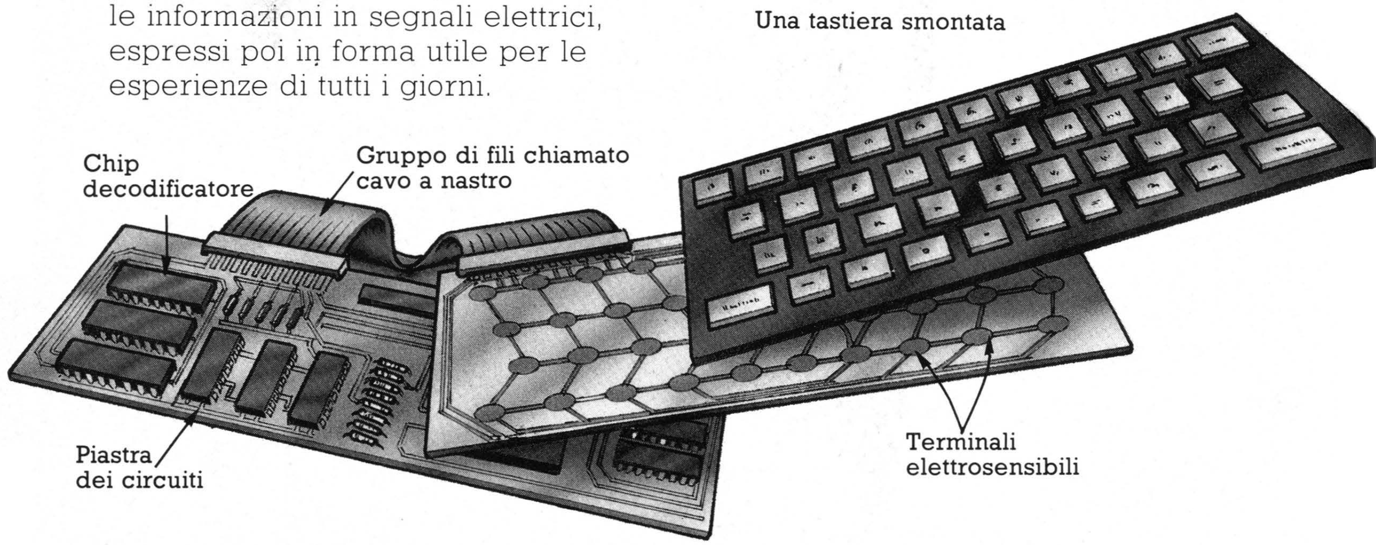


Spesso un dispositivo di output è molto piu lento del microprocessore cui è collegato. Per esempio, un microprocessore può inviare mille caratteri* a una stampante in meno di un secondo, mentre la stampante impiega un minuto o due per stamparli. Per ovviare a questo, vengono utilizzate alcune zone dei chip di RAM, chiamate *buffer* (cuscinetto), per memorizzare i codici dei caratteri che aspettano di essere stampati.

* Un carattere è una lettera, un numero o un simbolo.

Ancora sull'input e sul'output

Le figure di queste due pagine mostrano alcuni modi per trasformare le informazioni in segnali elettrici, espressi poi in forma utile per le esperienze di tutti i giorni.

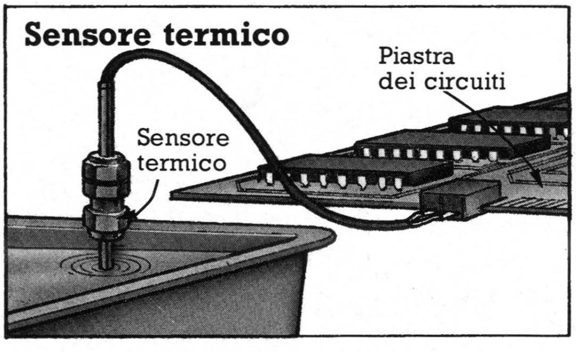


Tastiera del computer

Alcune tastiere di computer hanno un terminale elettrosensibile sotto ciascun tasto. I terminali sono disposti su un foglio di plastica e collegati da tracce elettriche cosí da formare una griglia di righe e colonne. Quando viene premuto un tasto, i segnali relativi alla sua riga e alla sua colonna vengono inviati a un chip di interfaccia chiamato decodificatore, che riconosce il tasto premuto e genera il codice binario corrispondente.

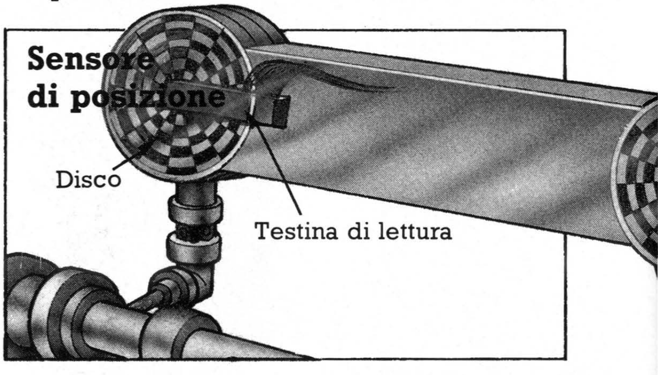
La tastiera e il suo chip di interfaccia hanno un unico indirizzo e quando il microprocessore prende i dati all'indirizzo della tastiera, in effetti li ottiene dal chip di interfaccia che ha prodotto il codice binario. Quando il microprocessore di un computer è pronto a ricevere le istruzioni dell'utente, va a cercare, uno dopo l'altro, i byte all'indirizzo della tastiera e li inserisce nei chip di RAM

Sensore termico



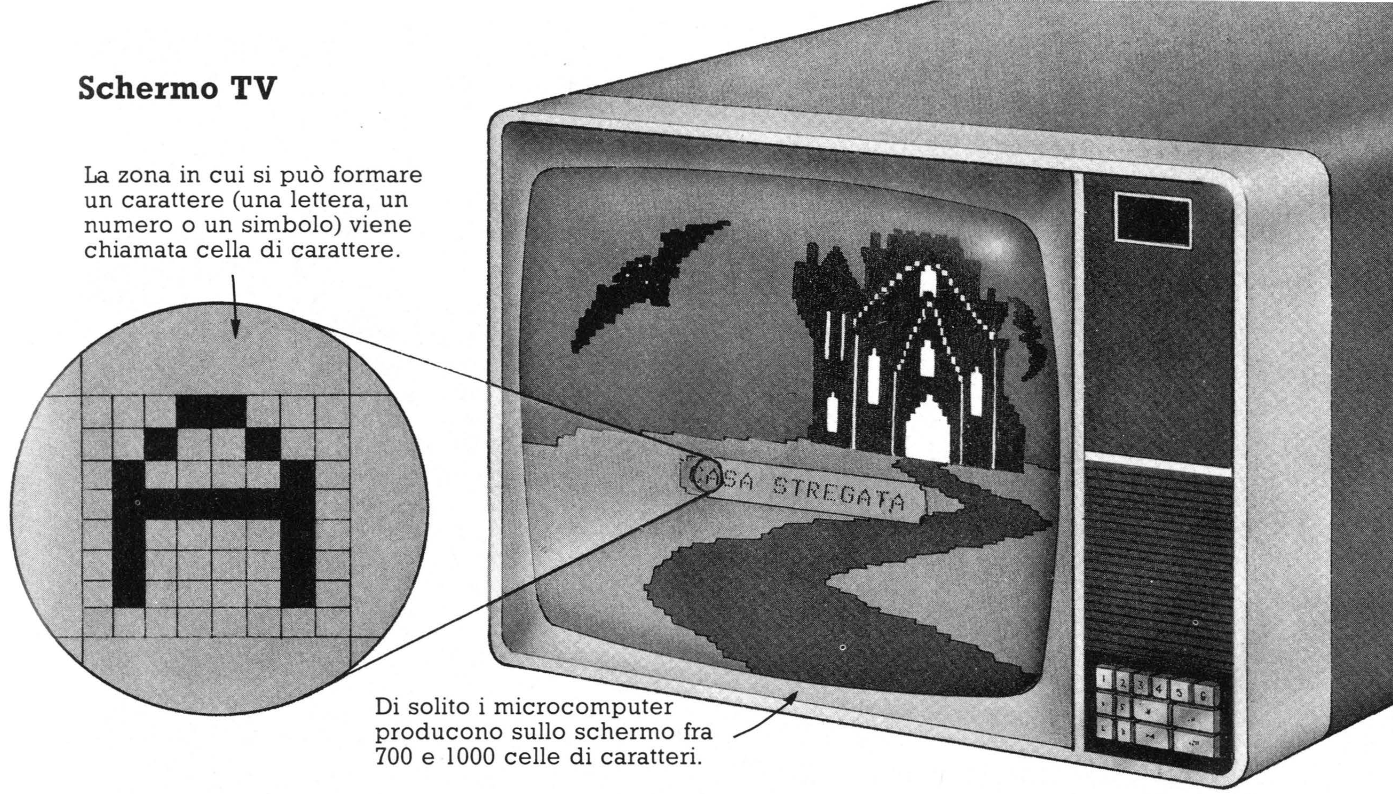
Il sensore di questa figura trasforma la temperatura di un liquido (per esempio dell'acqua di una lavatrice) in segnale elettrico. Il sensore contiene una piccola componente elettronica, chiamata termistore, che consente il passaggio di quantità diverse di corrente elettrica a seconda della propria temperatura. In tal modo, una temperatura variabile viene trasformata in una corrente elettrica variabile. Tale corrente è analogica è va convertita in digitale prima che il microprocessore la possa utilizzare (vedi pagina 31).

Sensore di posizione



Ogni giuntura di un braccio di un robot è dotata di un sensore, chiamato decodificatore ottico di posizione, che informa il microprocessore sulla posizione del braccio. Il decodificatore è composto di due parti: un disco piatto, collegato alla parte mobile del robot, e una "testina di lettura" collegata alla parte fissa. Il disco piatto è suddiviso in segmenti, ognuno con un diverso disegno in bianco e nero. Quando il braccio si muove, la testina di lettura genera un insieme di segnali binari che corrispondono al disegno in bianco e nero del segmento sottostante. In tal modo vegono ottenuti codici binari di posizione.

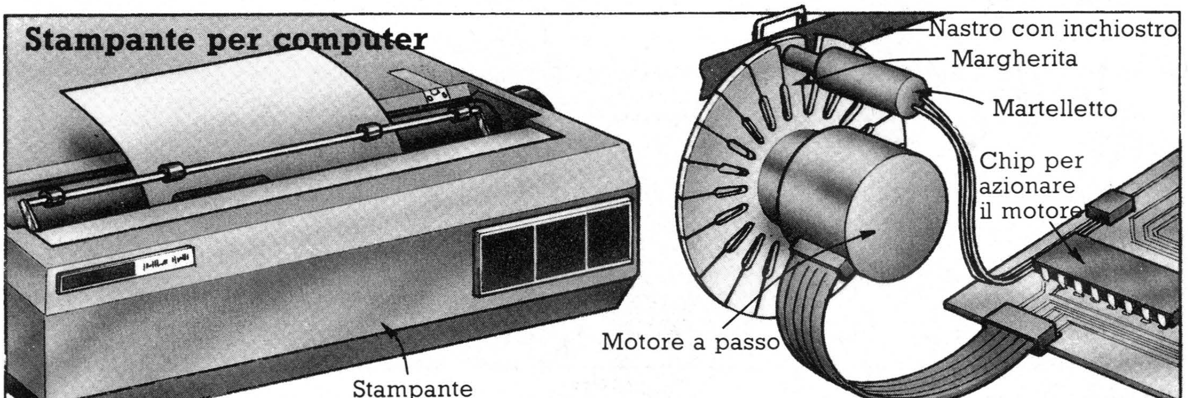
Schermo TV



Lo schermo TV o VDU (da *Visual Display Unit*, unità di rappresentazione visiva) collegato a un computer trasforma i segnali elettrici del microprocessore in configurazioni di chiari e di scuri per formare parole, numeri e immagini comprensibili alle persone.

Ogni zona di uno schermo TV in cui sia possibile formare un carattere ha un proprio indirizzo; quando il microprocessore deve mostrare informazioni, invia un codice binario per ciascun carattere a un chip di interfaccia chiamato generatore di caratteri.* Questo traduce il codice in un insieme di segnali che illuminano un insieme di punti a un indirizzo sullo schermo, per formare il carattere specificato dal codice.

Stampante per computer



Nella stampante di un computer, i segnali elettrici vengono trasformati in movimenti da un motorino a passo, che ruota di una piccola distanza fissa ogni volta che riceve un segnale elettrico. Il motore fa ruotare un disco plastico, chiamato margherita, sul cui bordo sono rappresentati numeri, lettere e simboli.

Quando il microprocessore di un computer ha informazioni da stampare, invia all'indirizzo della stampante i codici binari corrispondenti alle lettere e ai numeri. I chip all'interno della stampante trasformano i codici nel numero di segnali necessari per portare il simbolo richiesto sotto il martelletto.

Molte stampanti hanno due indirizzi; il secondo viene chiamato indirizzo di stato e contiene dati relativi alla stampante, per esempio se è pronta a ricevere informazioni, o se è impegnata nella stampa, o se è finita la carta.

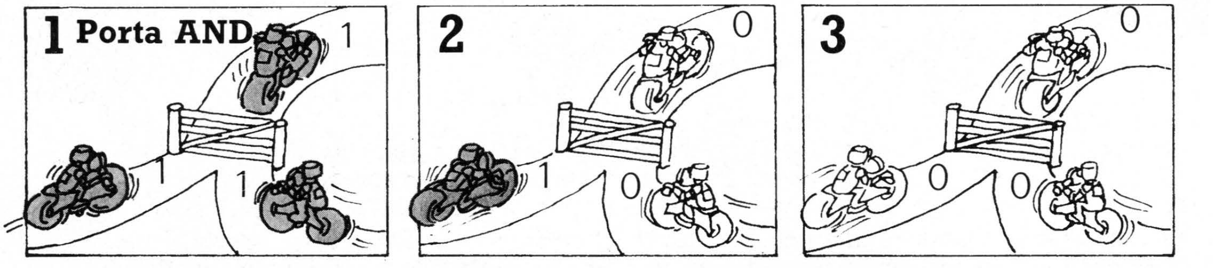
* Di solito il generatore di caratteri è un chip di ROM separato. Su alcuni piccoli computer, invece, i circuiti del generatore di caratteri sono sul chip di ROM principale.

Dentro la ALU

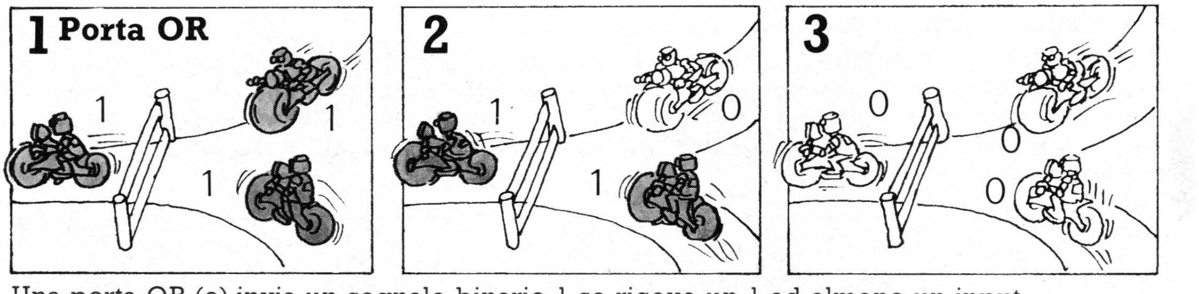
Tutti i dati inseriti in un microprocessore finiscono per essere elaborati all'interno dell'unità logico-aritmetica, o ALU, che è la parte del microprocessore che svoge i calcoli e prende le decisioni. Per far questo, invia i byte del codice binario attraverso circuiti chiamati porte logiche, chiave del funzionamento del microprocessore.
Ci sono vari tipi di porte logiche, ottenute regolando gli interruttori dei transistor in modi diversi. Le porte vengono progettate in modo da generare segnali diversi secondo i segnali che ricevono, come mostrato qui sotto.

Come funzionano le porte logiche

Le tracce che conducono i segnali a una porta logica vengono chiamate input, mentre la traccia che porta il segnale all'esterno è chiamata output. La maggior parte delle porte logiche ha due input e un output e sono disposte a gruppi per gestire i codici binari a otto bit.
I tipi principali di porte logiche della ALU sono quattro e le figure qui sotto mostrano il funzionamento.

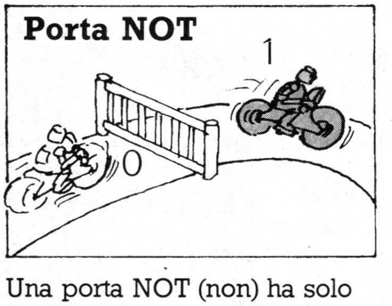


Queste tre figure mostrano come funziona una porta AND (e). Ha due input e un output e invia un segnale binario 1 se riceve 1 a entrambi gli input, come mostra la prima figura, e invia un segnale binario 0 se riceve solo un 1 o nessuno (seconda e terza figura).



Una porta OR (o) invia un segnale binario 1 se riceve un 1 ad almeno un input.





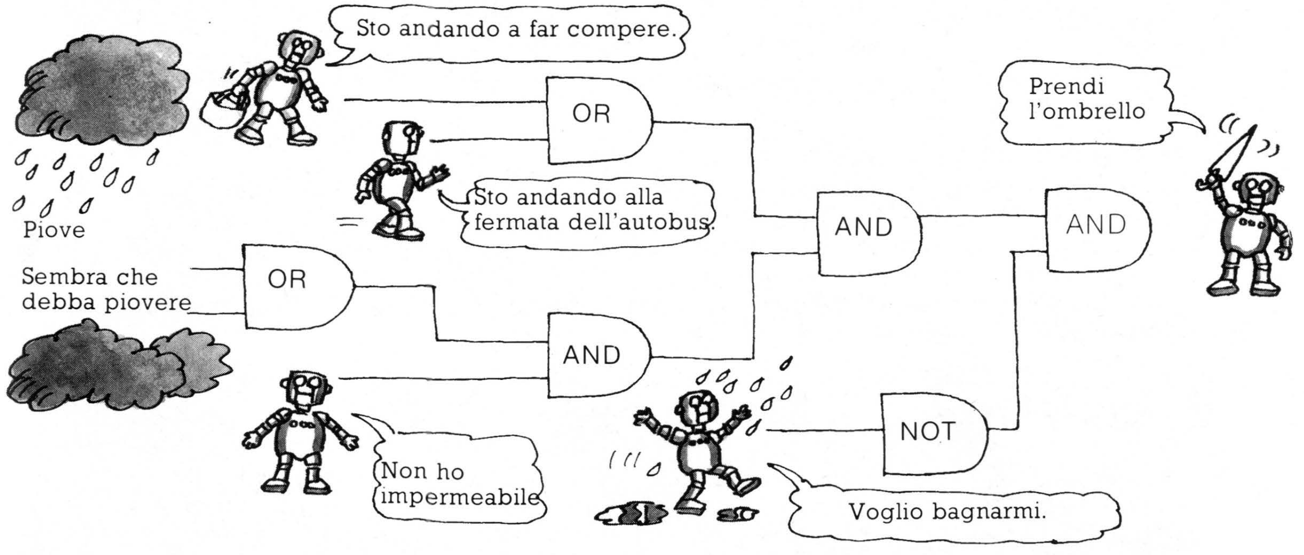
XOR significa "OR esclusivo"; questa porta è come la precedente, solo che invia un 1 se riceve un 1 a un input *o* all'altro, ma non a entrambi.

Una porta NOT (non) ha solo un input e invia sempre l'opposto di quello che riceve, per cui se il suo input è 1, l'output sarà 0 e viceversa.*

* Un altro nome della porta NOT è invertitore, perché inverte il segnale che riceve.

Decisioni complicate

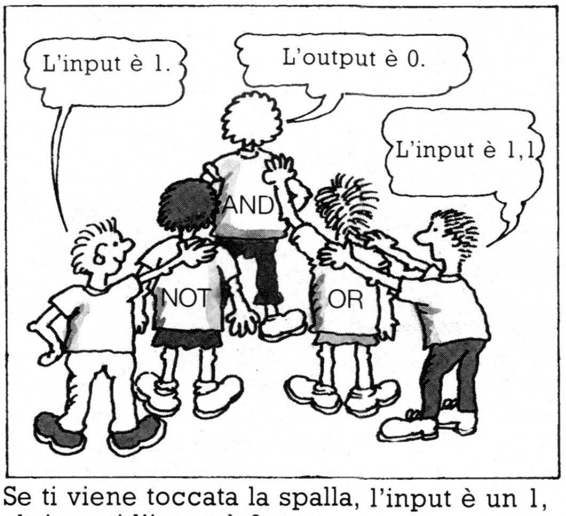
I vari tipi di porte logiche possono prendere solo decisioni molto semplici, riconoscendo se hanno ricevuto una determinata informazione. Spesso la ALU di un microprocessore deve prendere decisioni complicate, influenzate da una quantità di fattori. Per far questo le porte sono raggruppate come mostrato qui sotto.



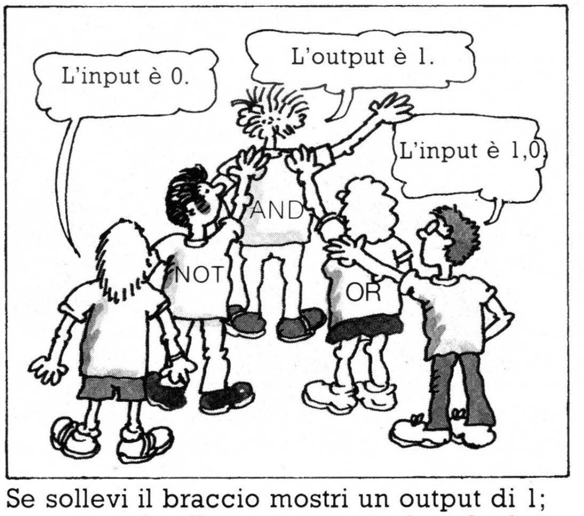
Il circuito delle porte è disegnato in modo che l'output di una diventi l'input della successiva. Ciascuna porta costituisce un punto decisionale e la decisione presa diventa un input del punto successivo, finché non viene raggiunta la decisione finale. Se un problema può essere suddiviso in una serie di passaggi decisionali logici, può essere risolto dai circuiti delle porte logiche di un microprocessore.

Un circuito logico umano

Un modello di circuito logico può essere costruito tramite un gruppo di persone: ogni persona è una porta, le sue due spalle sono i due input e un braccio è l'output. Tutti devono conoscere le regole dell'input e dell'output che rappresentano (quelle della pagina a fronte), e qualcuno deve dare gli input iniziali alle prime porte, come mostrato nelle figure sottostanti.



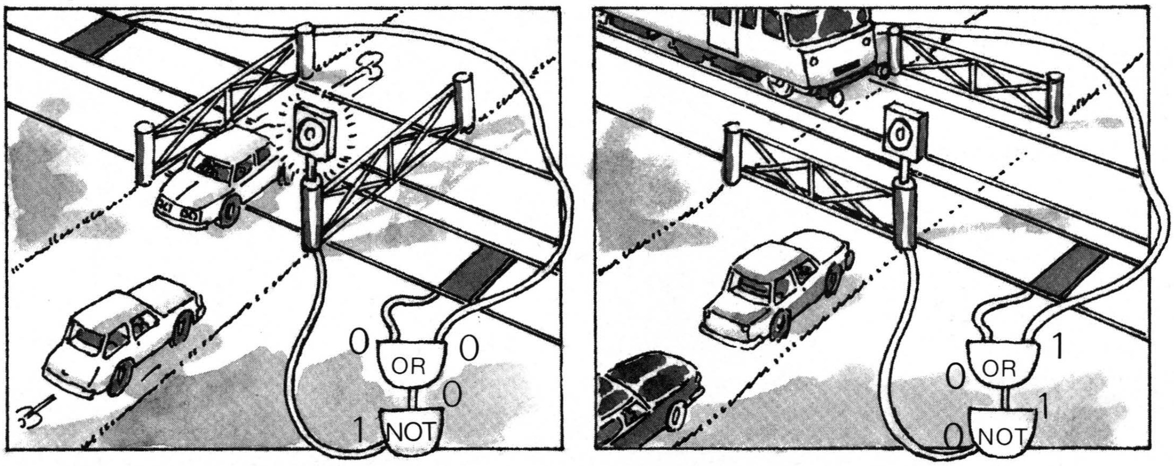
Se ti viene toccata la spalla, l'input è un 1, altrimenti l'input è 0.



Se sollevi il braccio mostri un output di 1; per passarlo alla porta successiva, devi toccare la spalla che hai davanti.

Costruzione di un circuito logico

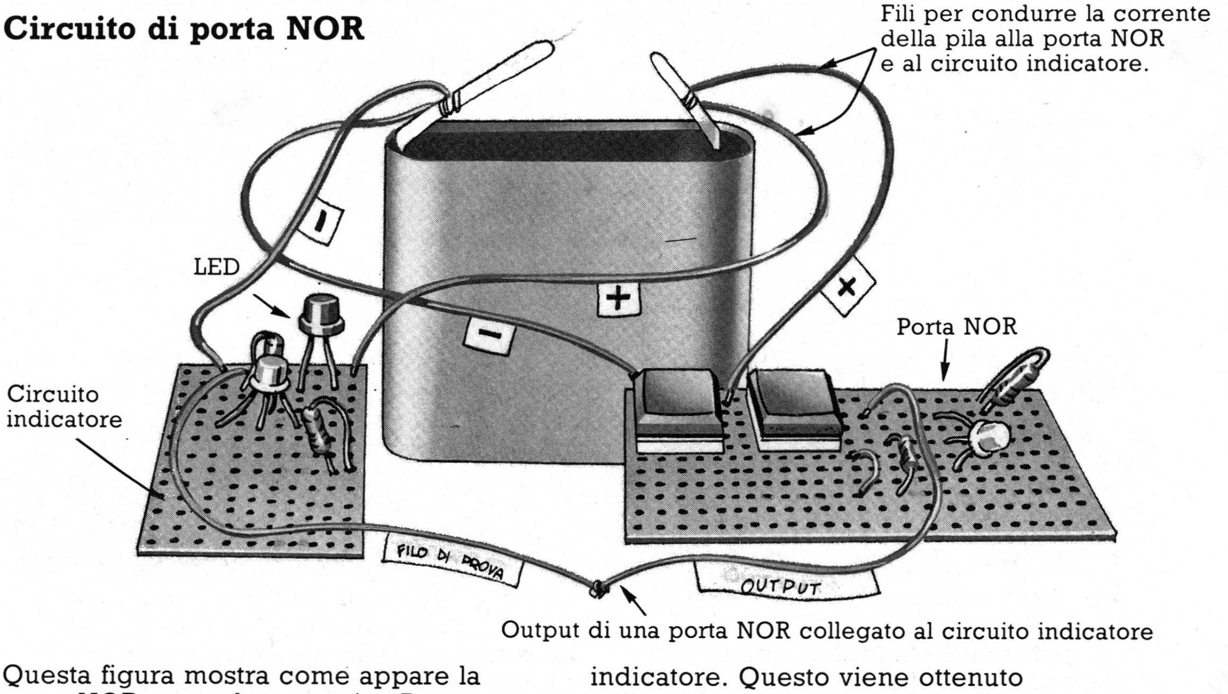
Le figure sottostanti mostrano come usare le porte logiche per controllare un elemento di un'apparecchiatura come il semaforo di un passaggio a livello. Le pagine che seguono spiegano come costruire un circuito come questo. I circuiti elettronici che controllano i veri passaggi a livello sono molto piú complessi, ma funzionano in modo analogo.



Il semaforo dev'essere quasi sempre verde, per far passare le macchine, ma se arriva un treno da una parte o dall'altra, deve spengersi. Per ottenere un circuito logico che svolga queste operazioni, si può combinare una porta OR con una NOT come mostrato sopra. Gli input delle porte OR sono due interruttori disposti sui binari, che inviano alla porta OR un 1 (cioè un segnale di voltaggio elevato), quando un treno vi passa sopra. Una porta OR invia un 1 se ne riceve uno, a uno o a entrambi i suoi input; quindi se arriva un treno invia un 1 alla porta NOT. Questa cambia l'1 in 0 (un segnale di voltaggio basso) che spenge il semaforo verde.

Una porta OR associata a una porta NOT è chiamata porta NOR. Puoi costruirne una usando un solo transistor e due componenti chiamate resistenze.

Circuito di porta NOR



Questa figura mostra come appare la porta NOR una volta costruita. Per controllare la porta è necessario un secondo circuito, chiamato circuito indicatore. Questo viene ottenuto utilizzando una componente chiamata LED che si accende quando riceve un segnale 1.*

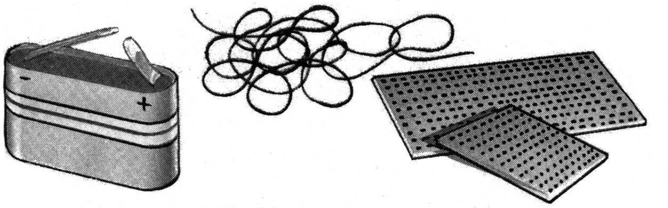
* A pagina 44 puoi trovare ulteriori informazioni su tutte le componenti.

Apparecchiature necessarie

Per costruire una porta NOR occorre una pila, le poche componenti elettroniche descritte sotto e un saldatore. Alle pagine 44-45 puoi vedere come riconoscere le diverse componenti e come saldare. Le componenti si possono acquistare in un negozio di elettronica o per corrispondenza, cercando gli indirizzi sulle inserzioni di riviste specializzate.

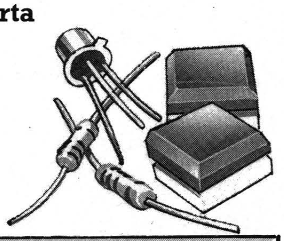
Cose da comperare

Una pila a 4 1/2 volt, 150 cm circa di filo a treccia, due pezzi di Veroboard (schede di plastica per circuiti elettronici) con distanza fra i fori di 0,1 pollici (circa 2,5 mm), ciascuna con dieci tracce e 24 fori.



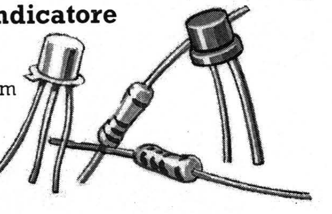
Componenti della porta NOR

Un transistor BC107
Due resistenza da 1K ohm
Due interruttori a pulsante, a due piedini, montabili su piastra di circuiti adatti per la Veraboard prescelta.

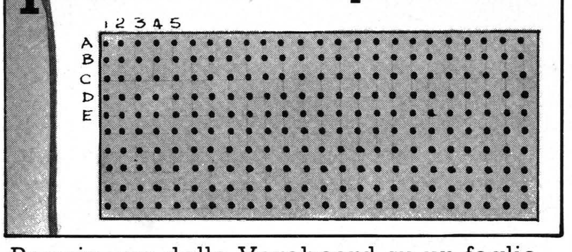


Componenti dell'indicatore

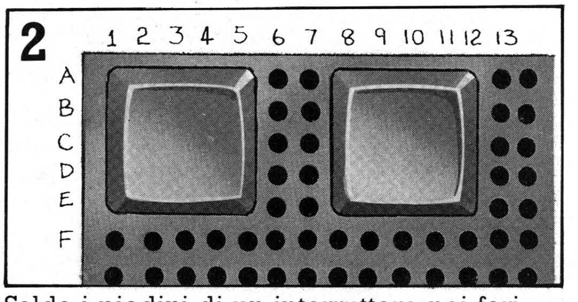
Un LED verde
Un transistor BC107
Una resistenza da 1K ohm
Una resistenza da 270 ohm



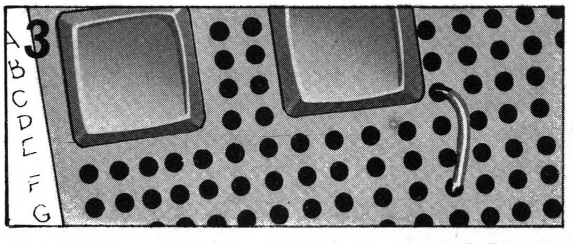
1 Costruzione della porta NOR



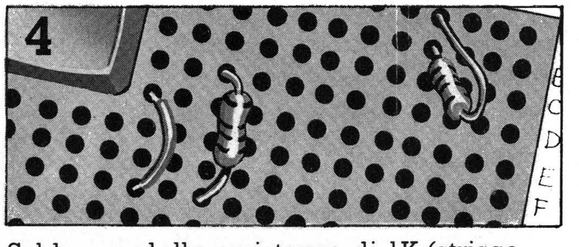
Poggia una delle Veroboard su un foglio di carta con le tracce orizzontali in basso e disegna un reticolo come mostrato sopra, attribuendo lettere alle tracce e numerando i fori.



Salda i piedini di un interruttore nei fori A4 ed E2 e quelli dell'altro in A11 ed E9.



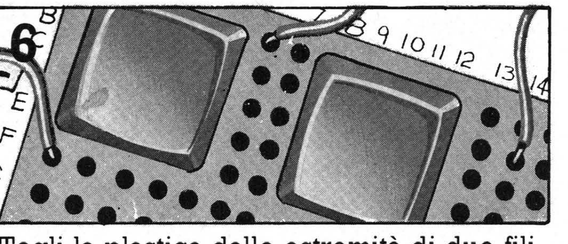
Taglia un pezzo di filo lungo circa 1,5 cm e togli qualche millimetro di plastica a entrambe le estremità. Salda i fili nei fori E13 e H13.



Salda una delle resistenze di 1K (strisce marrone, nera e rossa) nei fori D15 e H15, e l'altra in A21 e B21.

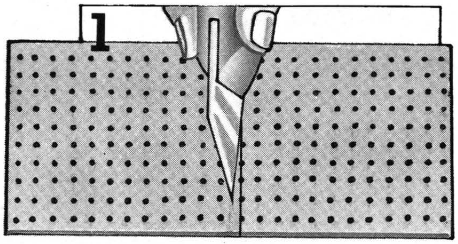


Metti il transistor con il filo del collettore in B18, la base in D18 e l'emittente in F18. (A pagina 44 viene spiegato come distinguere i fili.)

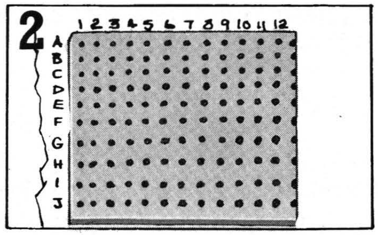


Togli la plastica dalle estremità di due fili di 30 cm e da uno di 6 cm. Salda un filo da 30 cm in A6 e contrassegnalo con "+"; salda l'altro filo di 30 cm in F1 e contrassegnalo con "-". Salda il filo di 6 cm in B14 e marcalo "Output".

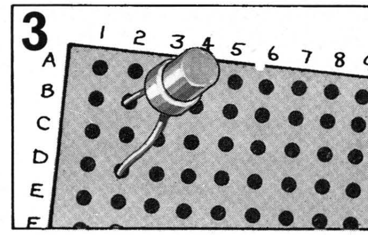
Costruzione del circuito indicatore



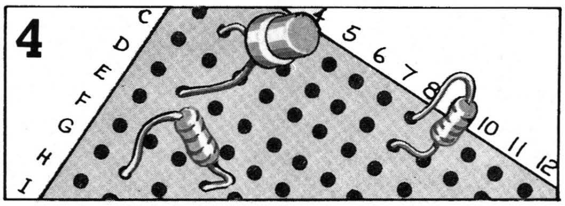
Spezza l'altra Veroboard in modo da avere un pezzo con 12 fori e 10 tracce; per spezzarla, incidila prima con un coltello affilato.



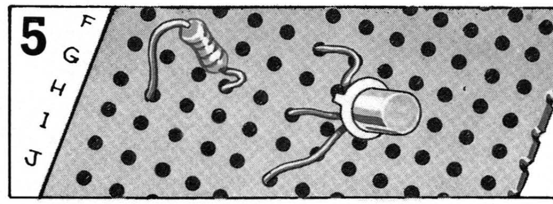
Poggia la scheda su un pezzo di carta con le tracce orizzontali sul retro e disegna un reticolo come quello della figura.



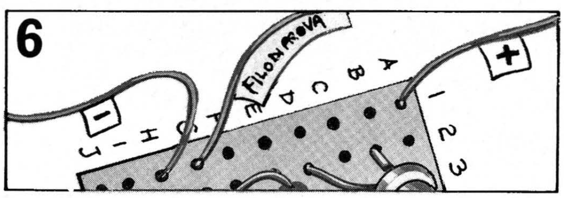
Salda il LED nei fori B2 e D2. Il filo accanto al bordo piatto (o quello piú spesso, vedi pagina 44) deve andare nel foro D2.



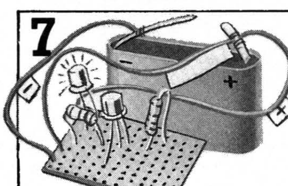
Salda la resistenza da 1K (strisce marrone, nera e rossa) in G2 e F4. Salda la resistenza di 270 ohm (strisce rossa, viola e marrone) in A8 e B8.



Metti il transistor con il collettore in D6, la base in F6 e l'emettitore in H6. (Vedi pagina 44.)



Salda un pezzo di filo lungo 30 cm nel foro A1 e constrassegnalo con "+"; saldane un altro in H1 e marcalo con "—", infine salda un filo di 6 cm in G1 e contrassegnalo "Filo di prova".



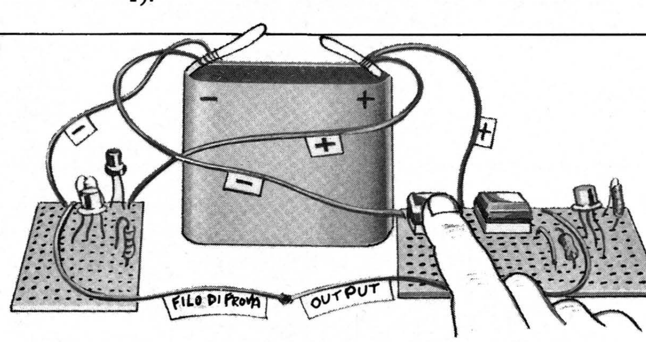
Se con il filo di prova tocchi il terminale negativo, il LED non si accende.

Per controllare se l'indicatore funziona, collegalo alla pila e tocca il terminale positivo della pila con il filo di prova: il LED dovrebbe accendersi mostrando che è presente un voltaggio elevato (segnale 1).*

Test della porta NOR

Per controllare una porta NOR, la si deve collegare al circuito indicatore. Unisci il filo di output della porta NOR e il filo di prova dell'indicatore; li puoi anche saldare, per ottenere una congiunzione piú solida.

Unisci poi il filo + della porta NOR e quello + dell'indicatore e collegali al terminale positivo della pila. Fai lo stesso con i due "—" e collegali al terminale negativo.



Appena i circuiti sono collegati, il LED verde dovrebbe illuminarsi, mostrando che non viene premuto nessuno dei due interruttori (una porta NOR dà un output di voltaggio elevato solo quando riceve due input di voltaggio basso). Se premi uno o entrambi gli interruttori, la luce si spenge, mostrando che l'input è diventato 1 e l'output 0.

* Se l'indicatore non funziona, controlla se tutte le componenti sono nei fori giusti e se i giunti sono saldati bene.

Ancora sulle porte logiche

I circuiti logici sono utili perché generano sempre lo stesso output per lo stesso insieme di input. Una porta logica con due input, per esempio una porta NOR, può ricevere quattro diversi schemi di segnali binari: 0,0; 0,1; 1,0; 1,1. Gli ingegneri e i progettisti di chip scrivono tavole di input e di output che mostrano tutti i risultati che una porta logica può produrre. Riportiamo qui sotto la tavola di una porta NOR.

INPUT A	INPUT B	OUTPUT
0	0	1
1	0	0
0	1	0
1	1	0

Tavola di verità di una porta NOR.

Se hai costruito la porta NOR delle pagine precedenti, puoi controllare la sua tavola di verità. Etichetta gli interruttori A e B e scorri la tavola riga dopo riga, premendo l'interruttore A tutte le volte che c'è un 1 all'input A e l'interruttore B quando c'è 1 in input B. Il LED verde mostra l'output.

Il nome di una tavola di input e di output è tavola di verità. Se vuoi puoi rileggere le descrizioni delle porte AND, OR e XOR e provare a scriverne le tavole di verità. Puoi controllare le tue risposte a pagina 47.

La storia delle porte logiche

I principi alla base delle porte logiche elettroniche e delle tavole di verità vennero concepiti verso il 1850 dal matematico irlandese George Boole, che studiava in che modo le persone arrivano a prendere una decisione. Mai avrebbe immaginato che le sue idee sarebero state utilizzate per progettare circuiti elettronici.
Durante i suoi studi, si rese conto che nei processi decisionali sono implicati tre procedimenti logici principali, che chiamò AND, OR e NOT. Sono questi procedimenti che vengono imitati dalle porte logiche.
Boole inventò le tavole di verità per mostrare che, quando si è sicuri che un'affermazione è vera o falsa (e non una via di mezzo), è possibile prevedere tutte le conseguenze di un determinato procedimento mentale. Sotto vediamo la tavola di verità di Boole per un procedimento AND. Boole scrisse anche le tavole di verità per OR e NOT.

AFFERMAZIONE A	AFFERMAZIONE B	RISULTATO
Per es.: splende il sole. 	Per es.: indosso una pelliccia. 	Per es.: ho troppo caldo. 
FALSO	FALSO	FALSO
VERO	FALSO	FALSO
FALSO	VERO	FALSO
VERO	VERO	VERO

Se sostituisci la parola vero con il simbolo binario 1 e falso con 0, questa tavola di verità è esattamente uguale a quella di una porta AND elettronica, come puoi verificare guardando a pagina 47.

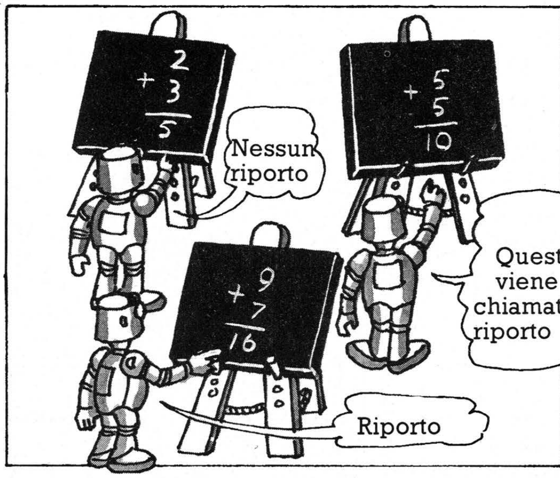
Quando gli uomini si sono resi conto di poter costruire circuiti elettronici in grado di fornire gli stessi risultati dei procedimenti mentali logici, i microprocessori e i computer sono diventati una realtà.

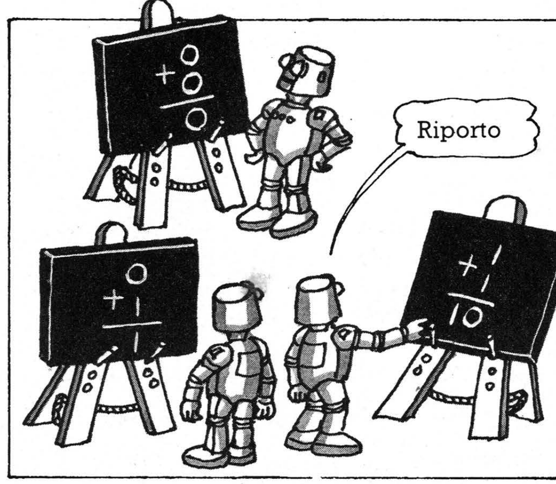
In che modo la ALU esegue le operazioni

Raggruppando le porte logiche in un determinato modo, è possibile costruire un circuito che addizioni due numeri. Per capire il circuito, si devono conoscere le regole dell'addizione in binario, sotto riportate.
Il circuito di addizione può solo sommare una cifra binaria a un'altra; per addizionare codici binari a otto bit, la ALU richiede un gruppo di otto circuiti di addizione collegati fra loro, chiamato addizionatore.

L'addizione in binario

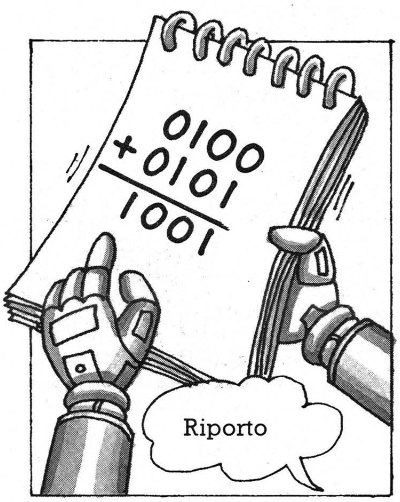
Le regole per addizionare in binario sono uguali a quelle per addizionare in decimale.





Nel sistema decimale la cifra piú grande è 9; quando la somma di due cifre è maggiore di 9 (per es. 5+5 o 9+7) la risposta viene mostrata riportando 1 e ricominciando da 0 nella colonna di destra.

Nel sistema binario le regole per addizionare sono uguali, però, poiché la cifra piú alta è 1, non appena si addiziona 1+1 è necessario il riporto. Come dall'esempio qui sopra.



Qui puoi vedere come vengono addizionati due numeri binari a quattro bit. Puoi controllare il risultato dell'operazione trasformando tutti in numeri in numeri decimali, come viene spiegato a destra.

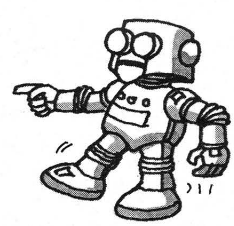
Trasformazione da binario in decimale

BINARIO	1		1	11
DECIMALE	8		2	14

0100 = 4

0101 = 4 + 1 = 5

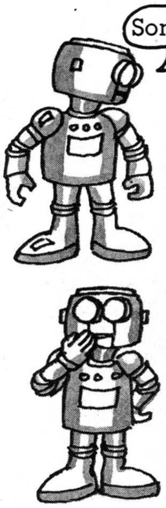
1001 = 8 + 1 = 9



In un numero binario, ogni cifra ha un valore doppio rispetto a quello alla sua destra, quindi per trovare l'equivalente decimale dei numeri binari devi raddoppiare il numero decimale ogni volta che ti sposti a sinistra di un posto nel numero binario. Tramite la tabella qui sopra puoi vedere come il numero binario 0100 corrisponda a 4 decimale, 0101 sia 5 e 1001 sia 9 (4+5=9).

Progetto di un circuito di addizione

Nel progettare un circuito elettronico per addizionare due cifre binarie, è necessario costruire una tavola di verità che mostri tutte le addizioni possibili con i loro risultati, poi realizzare un circuito con la stessa tavola di verità.
Poiché il sistema numerico binario ha solo due cifre, le addizioni possibili sono solo quattro,* e vengono mostrate qui sotto. Per scriverle sotto forma di tavola di verità, le cifre da addizionare devono costituire l'input e la risposta l'output. E' inoltre necessario che gli output siano due, per tener conto anche del riporto.



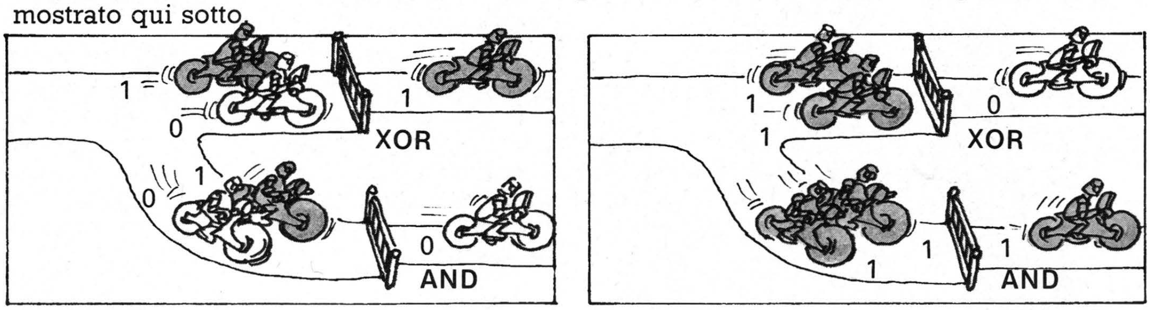
Somme possibili

Tavola di verità

	INPUT PER LA PRIMA CIFRA BINARIA	INPUT PER LA SECONDA CIFRA BINARIA	OUTPUT PER LA COLONNA DI DESTRA	OUTPUT PER IL RIPORTO
1. 0 + 0 = 0	0	0	0	0
2. 1 + 0 = 0	1	0	1	0
3. 0 + 1 = 1	0	1	1	0
4. 1 + 1 = 10	1	1	0	1

Quali porte logiche utilizzare

Un circuito che generi la tavola di verità dell'addizione (mostrata qui sopra) può essere costruito utilizzando solo due porte logiche: una porta XOR darà l'output della colonna di destra del risultato e una porta AND darà l'output del riporto. (Puoi controllare guardando le tavole di verità di AND e XOR a pagina 47.) Gli input, cioè le cifre da addizionare, devono essere inserite contemporaneamente a entrambe le porte, come mostrato qui sotto.



Queste figure fanno vedere come il circuito di addizione eseguirebbe 1+0 e 1+1. All'interno della ALU c'è un gruppo di otto circuiti come questi, ognuno dei quali addiziona un bit di un byte di un codice binario. C'è anche un secondo insieme di circuiti che addiziona il riporto di un circuito di addizione al circuito di addizione alla sua sinstra. Se l'ultimo bit di un byte dà un riporto, viene indicato dal flag di riporto nel registro di flag (vedi pagina 25).

Come vengono eseguiti gli altri calcoli

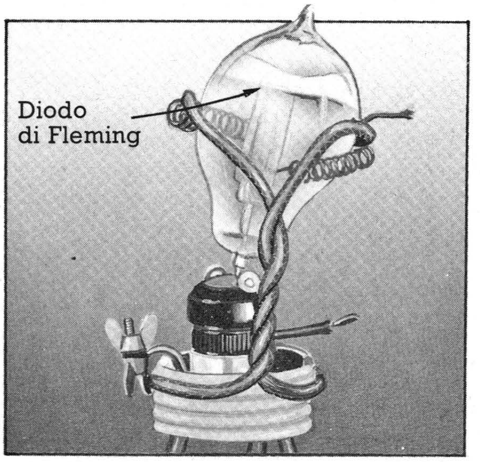
L'ALU esegue tutte le operazioni tramite addizioni nei circuiti di addizione. Per una sottrazione, uno dei due numeri viene reso negativo e poi aggiunto all'altro. La moltiplicazione viene effettuata continuando ad addizionare, e la divisione continuando a sottrarre. Anche i calcoli complessi, come l'estrazione di radici quadrate, vengono suddivisi in passaggi semplici, ognuno dei quali implica solo un'addizione. Un insieme di regole per eseguire calcoli complessi viene chimato algoritmo; nel chip di una calcolatrice tascabile, i circuiti di ROM contengono un algoritmo per ogni operazione matematica che la calcolatrice può eseguire.

* Nel sistema numerico decimale, che ha dieci cifre diverse, le somme possibili addizionando due numeri sono cento.

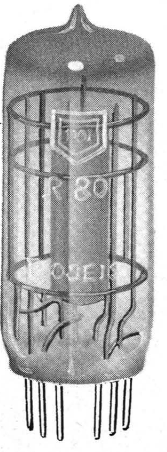
Storia del chip

L'invenzione del chip ha origine dallo sviluppo dell'elettronica (il controllo dell'elettricità) che nella prima metà del secolo è stato rapidissimo. Le prime componenti elettroniche sono state utilizzate per riprodurre il suono nelle radio e per controllare la velocità dei motori elettronici. Nelle prossime due pagine descriveremo la realizzazione delle primissime componenti elettroniche e come il chip sia divenuto una realtà.

Solo agli inizi del secolo gli scienziati si sono resi conto che era possibile controllare una corrente elettrica. Nacque cosí l'elettronica, nel 1904, con l'invenzione della valvola a diodo termoionico, o semplicemente diodo, da parte di Ambrose Fleming. Il diodo consentiva il flusso di corrente solo in una direzione e funzionava emettendo elettroni (particelle con una carica elettrica) da un filo riscaldato all'interno di un tubo di vetro vuoto. Gli elettroni venivano attratti da una piastra metallica all'altra estremità del tubo, cosí la corrente scorreva in quella direzione.

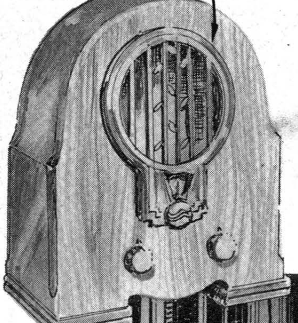


Triodo

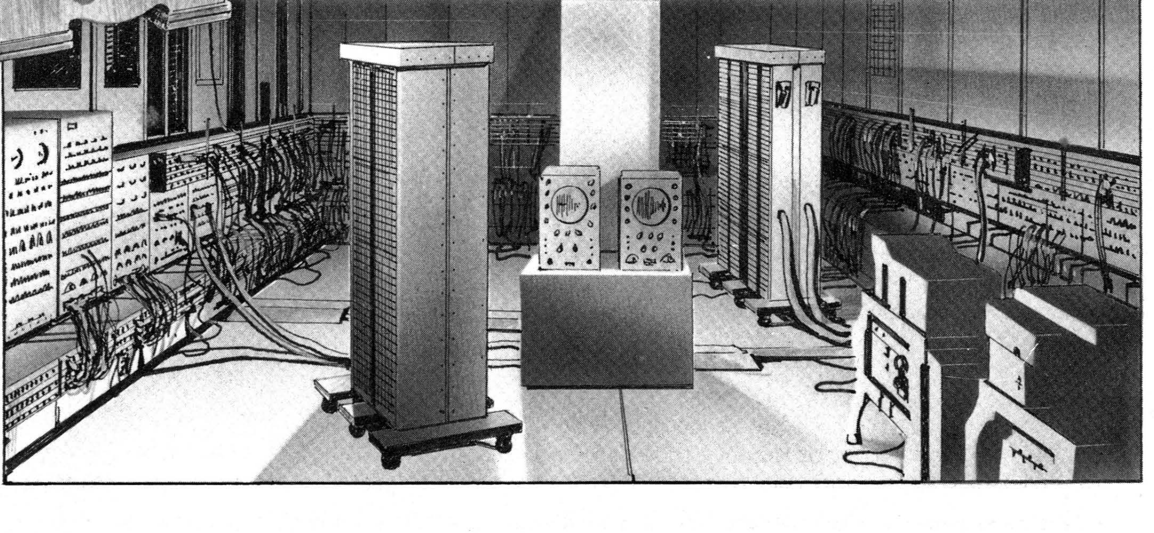


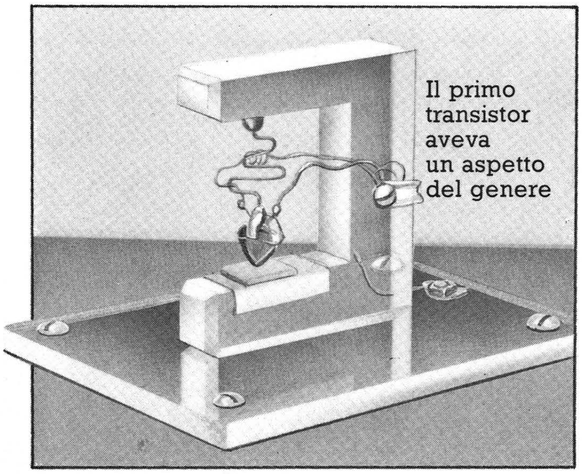
In quello stesso anno, Lee de Forest scoprí che inserendo una griglia metallica in mezzo al diodo si poteva controllare e modificare il flusso di corrente. Questa invenzione, chiamata triodo, fu particolarmente importante per lo sviluppo della radio e della televisione perché consentiva di amplificare (rendere piú grandi) le correnti. Venne anche scoperto che il triodo poteva funzionare da interruttore. Questo portò ai pimi computer elettronici degli anni quaranta: Colossus in Inghilterra ed ENIAC negli Stati Uniti. ENIAC sta per *Electronic Numeric Integrator and Calculator* (calcolatore e integratore numerico elettronico). La macchina, aveva ben 18.000 valvole; riempiva una grande stanza e produceva un enorme quantità di calore. I tecnici dovevano lavorare quasi 24 ore al giorno per sostituire le valvole surriscaldate.

Una radio a valvole degli anni trenta



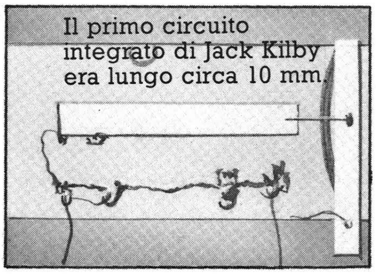
ENIAC

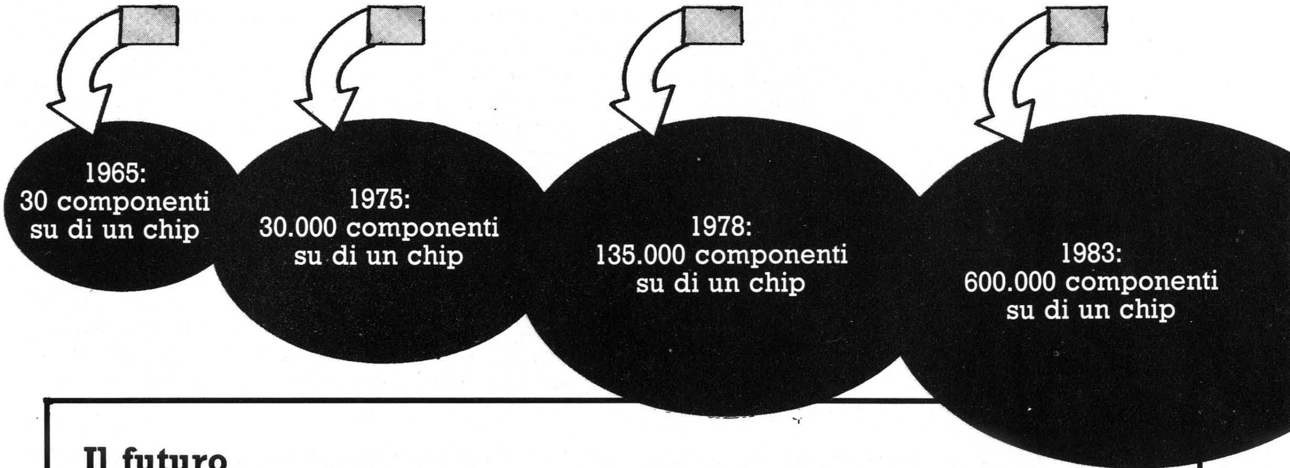



Il primo transistor aveva un aspetto del genere

Nel 1947, tre scienziati americani, Bardeen, Brattain e Shockley, inventarono un dispositivo che divenne noto come transistor. Il transistor poteva svolgere le stesse operazioni di un triodo, ma era piú piccolo, solido e non si riscaldava. I primi transistor erano costruiti con il germanio, un semiconduttore; solo successivamente venne utilizzato il silicio.
Le prime applicazioni commerciali dei transistor furono negli apparecchi acustici, ma a poco a poco sostituirono le valvole nelle televisioni, registratori, radio e in apparecchiature molto piú grandi, come le centraline telefoniche. La prima volta che vennero usati nei computer fu nel 1953.

Nel 1958, Jack Kilby, della Texas Instruments, ebbe l'idea di riunire due transistor su un cristallo di silicio e costruí cosí il primo circuito integrato. Il bisogno di miniaturizzazione creato dai programmi spaziali e di difesa americani spinse gli scienziati a cercare nuovi metodi per far entrare sempre piú componenti in un chip di 5mm di lato. La figura qui sotto dà un'idea della velocità del progresso.


Il primo circuito integrato di Jack Kilby era lungo circa 10 mm.



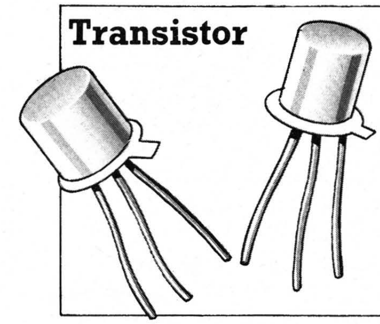
Il futuro

I costruttori cercano continuamente di rendere i chip piú potenti aumentando il numero delle loro componenti e la velocità di funzionamento. Attualmente la ricerca si accentra su un interruttore molto veloce e di bassa potenza che sostituirebbe i transistor. Il nuovo superinterruttore è la giunzione di Josephson, ideato nel 1962 da Brian Josephson, dell'università di Cambridge. Una giunzione di Josephson è costituita da due sottili strati di metallo separati da uno strato isolante piú sottile. A temperature di centinaia di gradi sotto zero, i metalli diventano "superconduttori" e le giunzioni si aprono e si chiudono dieci volte piú rapidamente dei piú veloci transistor attuali. Si pensa che usando una tecnologia basata sulla giunzione di Josephson, un computer delle dimensioni di una mela potrebbe elaborare tutte le informazioni attualmente gestite da un computer che riempie una stanza, e piú rapidamente. Dovrebbe lavorare a temperature molto basse.
Il successivo stadio di sviluppo di cui si parla è la produzione biologica dei chip.

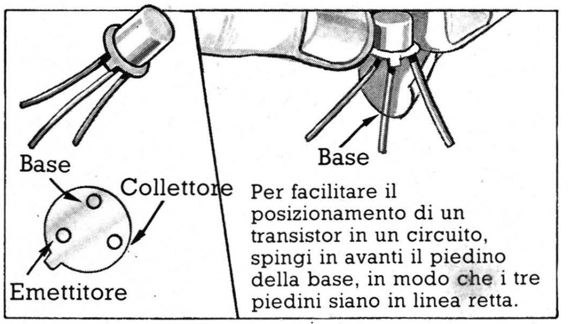
Suggerimenti per costruire circuiti

Le due pagine seguenti forniscono informazioni sulle componenti elettroniche e sulla saldatura e ti aiuteranno nella costruzione del circuito logico delle pagine 36-38.

Transistor



I transistor bipolari e quelli MOSFET sono esternamente identici.

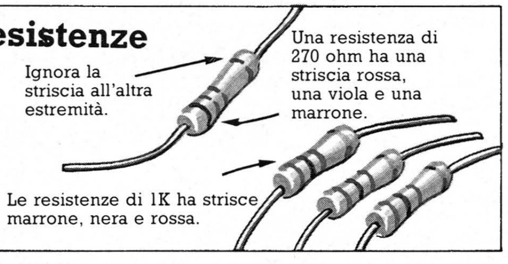


Per facilitare il posizionamento di un transistor in un circuito, spingi in avanti il piedino della base, in modo che i tre piedini siano in linea retta.

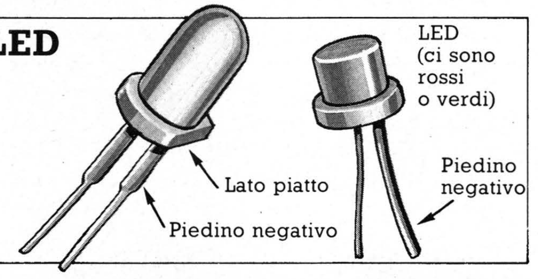
I transistor necessari per il circuito logico sono chiamati bipolari, o transistor a giunzione. Sono leggermente diversi da quelli descritti a pagina 8 (chiamati FET, dall'inglese a "transistor a effetto di campo"), anche se fanno passare e bloccano una corrente nello stesso modo.

I tre piedini di un transistor bipolare sono chiamati emettitore, base e collettore. Una corrente può scorrere nel transistor solo fra l'emettitore e il collettore, purché venga inviata una corrente alla base. La figura qui sopra mostra come riconoscere i vari piedini sul transistor BC107.

Resistenze



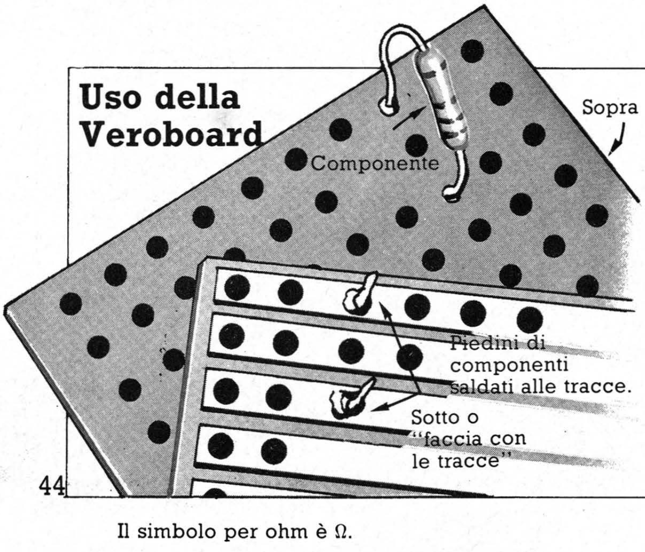
LED



Le resistenze riducono la corrente proveniente dalla pila a un livello compatibile con le altre componenti del circuito. La loro forza (cioè la quantità di cui riducono la corrente) viene misurata in ohm * ed è mostrata dalle tre strisce colorate a un'estremità della resistenza. Quando si parla di componenti, K sta per 1000, quindi una resistenza di 1K ha una forza di 1000 ohm.

LED sta per *Light Emitting Diode* (diodo emettitore di luce). Un diodo è una componente attraverso la quale la corrente può scorrere solo in una direzione e i LED sono diodi che si illuminno quando vi passa corrente. I LED hanno un piedino negativo e uno positivo ed è importante che siano disposti nel circuito in modo corretto. Il piedino negativo di alcuni LED è piú spesso; il corpo di altri LED ha un lato schiacciato e il piedino negativo è quello che gli è piú vicino.

Uso della Veroboard

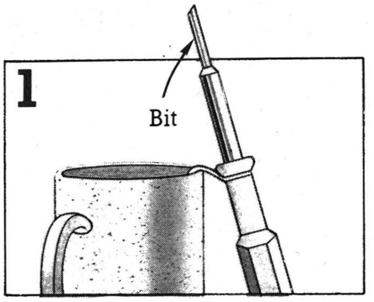


La Veroboard è stata appositamente progettata per costruire i circuiti elettronici. Ha file di fori, collegati fra loro da tracce di rame sul retro. I piedini delle componenti e i fili provenienti da una pila vengono inseriti nei fori e saldati al rame, cosí che la corrente può scorrere fra le componenti lungo le tracce. Le dimensioni di una Veroboard sono date dal numero di tracce per quello dei fori su ciascuna traccia (per es.: 10 tracce x 24 fori).

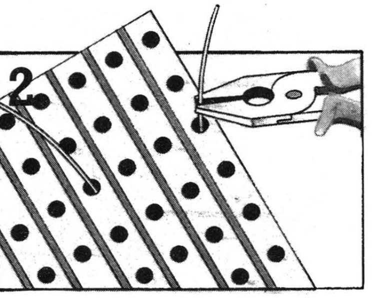
* Il simbolo per ohm è Ω.

Come si salda

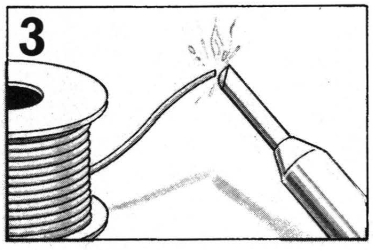




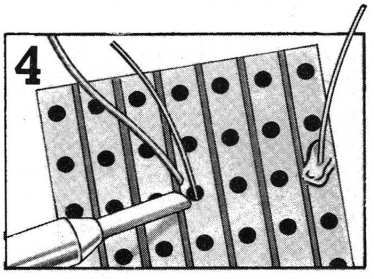
Attacca alla corrente il saldatore. Mentre si riscalda appoggialo in modo che la punta non tocchi nulla.



Per saldare una componente su una Veroboard, trova i fori giusti, fai passare i piedini e piegali leggermente con una pinza.



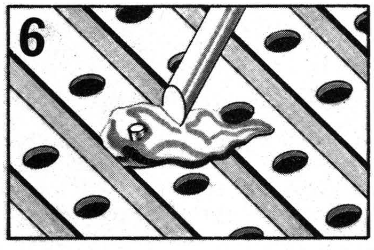
Con la punta calda del saldatore, tocca l'estremità dello stagno in modo che se ne sciolga una goccia e rimanga attaccata alla punta.



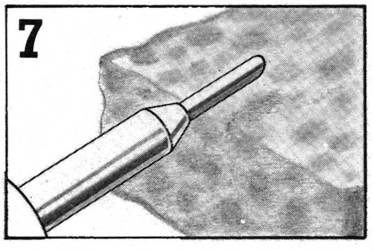
Tocca il piedino della componente con la punta del saldatore e l'estremità dello stagno per un secondo, finché una goccia stagno si attacca alla traccia.



Fai raffreddare la saldatura, poi inclina la scheda allontanandola da te e taglia i piedini vicino alla saldatura usando un tagliafili.



E' molto importante togliere lo stagno eventualmente caduto nei solchi fra le tracce. Passa la punta calda lungo la traccia.



Dopo ogni saldatura, pulisci la punta sulla spugna umida e *ricorda di staccare il saldatore quando hai finito.*

Dissaldare

Per togliere, o dissaldare, una componente, inserisci la punta di una matita fra i piedini della componente sulla faccia superiore della Veroboard. Qualcuno, deve aiutarti ad inclinare la Veroboard e di tenere la matita, tirando via la componente mentre fai sciogliere le saldature sulle tracce con il saldatore.

Come stagnare un filo

Se usi filo a treccia, conviene rivestirne (stagnarne) le estremità con uno strato di lega per saldature, in modo che sia pú facile farle passare per i fori sulla scheda.

Con un paio di pinze, togli circa un centimetro del rivestimento plastico del filo e attorciglia i vari fili che lo compongono.

Metti qualcosa di pesante sul filo per tenerlo fermo. Tocca qualche volta i fili con la lega e la punta, cosí da rivestirli.

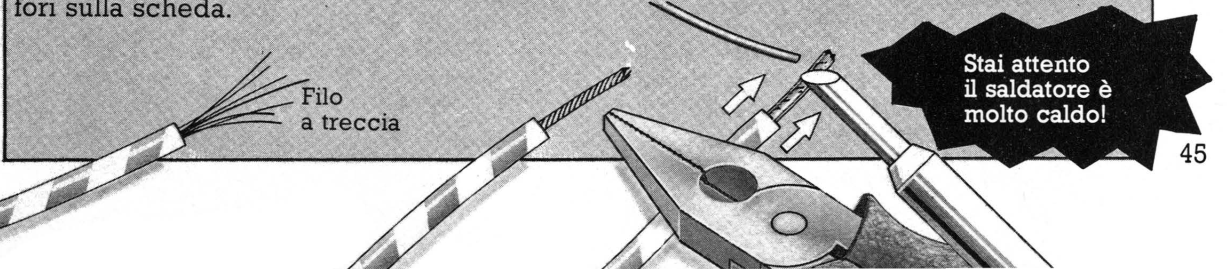
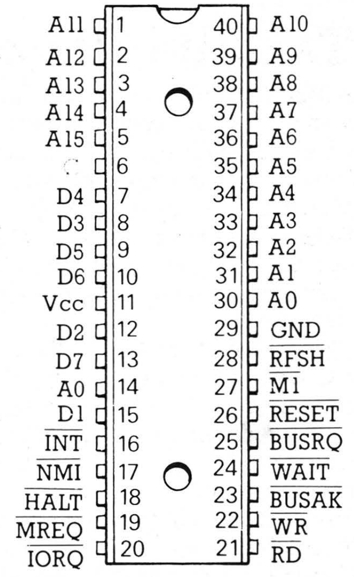


Tavola dei piedini di un microprocessore



I piedini dell'involucro di un microprocessore trasportano elettricità e indirizzi, dati e segnali di controllo dentro e fuori dal chip. La figura a destra è un diagramma, o la tavola dei piedini, di uno dei microprocessori piú diffusi, lo Z80. (Z sta per Zilog, il nome del costruttore). I piedini sono numerati da 1 a 40, con il numero 1 a sinistra dell'intaglio nella parte superiore dell'involucro. Le etichette sui piedini indicano il segnale che trasportano; qui sotto spieghiamo cosa significano e qual'è il compito di ciascun segnale. Su molte etichette vediamo una riga che indica che il piedino è attivo quando è basso. A pagina 27 spieghieamo il significato.

A0-A15 Questi piedini trasportano i codici di indirizzo a 16 bit che escono dal microprocessore. A sta per *address* (indirizzo) e il numero si riferisce alla posizione del bit nel codice.
D0-D7 Questi piedini trasportano i codici a otto bit dei dati al e dal microprocessore. D sta per dato.
Ø Questo piedino trasporta il segnale del clock (rappresentato dalla lettera greca fi) al microprocessore.
Vcc Questo piedino è per l'alimentatore. E' collegato a +5 volt.
INT Sta per interruzione. Questo segnale interrompe le operazioni del microprocessore per farlo reagire a un'emergenza esterna, per esempio a un surriscaldamento della macchina.
NMI Sta per *non-maskable interrupt* (interruzione non mascherabile). E' un secondo segnale di interruzione che prevale sul precedente. Si chiama non mascherabile perché non c'è niente che possa annullarlo, o mascherarlo.
HALT E' un segnale che il microprocessore invia agli altri chip per comunicare di aver temporaneamente sospeso le proprie operazioni.
MREQ Sta per *memory request* (richesta di memoria). E' un segnale di controllo che il microprocessore invia per informare i chip di memoria che sul bus degli indirizzi c'è un indirizzo.
IORQ Sta per *input/output request* (richiesta di input/output. E' simile al segnale di richiesta di memoria solo che è rivolto ai dispositivi di input e di output per informarli che sul bus degli indirizzi c'è un indirizzo.
RD *Read* (lettura). E' il segnale di controllo che indica che ci sono dati da leggere da una posizione di memoria o da un dispositivo di input/output.
WR *Write* (scrittura). Il segnale di controllo che indica che vanno scritti dati in una posizione di memoria o in un dispositivo di input/output.
BUSAK Questo segnale e quallo BUSRQ vengono utilizzati quando il microprocessore condivide i bus degli indirizzi e dei dati con altri microprocessori. BUSAK sta per *bus ackowledge* (riconoscimento del bus) ed è il segnale che il microprocessore invia a un altro pocessore per informarlo che i bus degli indirizzi e dei dati sono liberi.
WAIT (Aspetta) E' il segnale inviato al microprocessore per farlo aspettare qualche ciclo di clock perché succeda qualcosa all'esterno. Per esempio, alcuni tipi di chip di ROM lavorano piú lentamente della maggior parte dei chip di memoria, quindi il microprocessore deve aspettare piú a lungo che quei chip prendano. Il microprocessore inizia ad aspettare quando il voltaggio del piedino si abbassa e aspetta finché non risale.
BUSRQ Sta per *bus request* (richiesta di bus). E' il segnale inviato da un altro microprocessore che condivide i bus per far saper a questo microprocessore che vuole utilizzarli.
RESET (Azzeramento) E' il piedino che trasporta il segnale di azzeramento che riporta a 0 il contatore di programma all'accensione del processore (vedi pagina 29).
M1 E' il segnale che il microprocessore invia agli altri chip per informarli che sta prendendo un'istruzione dalla memoria.
RFSH Sta per *memory refresh* (ripristino della memoria). E' il segnale che il microprocessore invia ai chip della RAM dinamica per conservare intatti i dati che contengono.
GND Sta per *ground* (terra). Questo piedino è l'uscita dal microprocessore all'alimentatore. Viene chiamato terra perché è collegato a 0 volt.

Termini del chip

ACIA Un chip di interfaccia comune che gestisce le conversioni seriale/parallelo. ACIA sta per *Asynchronous Communication Interface Adaptor* (interfaccia di adattamento di comunicazioni asincrone)
Chip di RAM dinamica Un chip di RAM che, per non perdere i propri dati, deve essere costantemente ripristinato (*refresh*) con segnali elettrici.
Chip di RAM statica Un tipo di chip di RAM che non richiede segnali particolari per poter conservare i dati che contiene al momento dell'attivazione (vedi anche chip di RAM dinamica).
CMOS Un tipo di chip che contine MOSFET (vedi sotto) sia a canale n che a canale p. Richiede pochissima elettricità. CMOS sta per *Complementary Metal Oxide Semiconductor* (semiconduttore complementare a ossido di metallo).
EAPROM o EAROM Sta per *Electrically Alterable (Programmable) ROM* (Rom modificabile (programmabile) elettricamente). E' simile a un chip di EPROM, descritto sotto, ma i suoi programmi vengono cancellati inviando una corrente a determinati piedini. Chiamato anche EEPROM o EEROM (*Electrically Erasable*, cancellabile elettricamente).
EPROM Un chip di ROM simile a un PROM (vedi sotto), però è possibile cancellarne i programmi e inserirne di nuovi con un procedimento che implica l'investimento del chip con un fascio di luce ultravioletta. A questo scopo le EPROM hanno sempre un foro sopra l'involucro.
Flip-flop Un circuito elettrico ottenuto usando diversi transistor che possono assumere uno di due stati, per rappresentare 0 e 1. I flip-flop vengono utilizzati nei chip di memoria per formare celle e nei microprocessori per formare registri.
LSI Sta per *Large Scale Integration* (integrazione su grande scala) Di solito la scala di integrazione si riferisce al numero di componenti su un chip. Nei chip LSI ce ne sono da 100 a 10.000.
MOS Sta per *Metal Oxide Semiconductor* (semiconduttore a ossido metallico). Descrive la tecnologia utilizzata per produrre la maggior parte dei chip, che utilizzano il metallo come conduttore e il diossido di silicio come isolante.
MOSFET Sta per *Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor* (transistor a ossido di metallo a effetto di campo). I tipi di MOSFET sono due: a canale n, descritto alle pagine 8 e 9, e a canale p, ottenuto con due isole di silicio di tipo p in uno strato di tipo n.
MSI Sta per *Medium Scale Integration* (integrazione di media scala). I chip MSI hanno fra 10 e 100 componenti.
NAND Un tipo di porta logica che esegue l'operazione opposta di una porta AND. NAND sta per "non AND".
NMOS Un tipo di chip che contiene solo MOSFET (vedi sopra) a canale n. I chip NMOS sono molto rapidi.
PMOS Un tipo di chip che contiene solo MOSFET (vedi sopra) a canale p. I chip PMOS possono utililizzare una notevole quantità di corrente.
PROM Un tipo speciale di chip di ROM nel quale è possibile scrivere programmi subito dopo la fabbricazione fondendo minuscoli fusibili incorporati nei circuiti. PROM sta per ROM programmabile.
SSI Sta per *Small Scale Integration* (integrazione su piccola scala). I chip SSI hanno meno di 10 componenti.
TTL Sta per *Transistor Transistor Logic* e descrive i chip con circuiti logici basati su transistor bipolari (non MOSFET).
UART Un diffuso chip di interfaccia che gestisce conversioni seriale/parallelo. UART sta per *Universal Asynchronous Receiver/Transmitter* (trasmettitore/ricevitore asincrono universale)
ULA Sta per *Uncommitted Logic Array* (matrice logica non predisposta). E' un chip con porte logiche che un costruttore può collegare in modi diversi secondo l'utilizzo.
VIA Un tipo di chip di interfaccia in grado di gestire tutti i tipi di conversione di segnali (per es.: analogico/digitale, seriale/parallelo). VIA sta epr *Versatile Interface Adaptor* (adattatore di interfaccia versatile).
VLSI Sta per *Very Large Scale Integration* (integrazione su scala grandissima). I chip VLSI hanno piú di 10.000 componenti.

Tavola verità per AND

INPUT 1	INPUT 2	OUTPUT
0	0	0
1	0	0
0	1	0
1	1	1

Tavola verità per OR

INPUT 1	INPUT 2	OUTPUT
0	0	0
1	0	1
0	1	1
1	1	1

Tavola verità per XOR

INPUT 1	INPUT 2	OUTPUT
0	0	0
1	0	1
0	1	1
1	1	0

Indice analitico

Stampato in Italia da: Grafika 78 - Via Trieste, 20 - Pioltello
Fotocomposizione: Composit s.a.s. - Via Giordano Bruno, 8 - 56100 Pisa

Speedy Computer

**Il calcolatore è anche (o soprattutto?) una macchina divertente. Si può giocare con lui, gli si possono fare delle domande, lo si può usare per scrivere una poesia o per suonare.
Questa colorata serie di libri vi propone alcune delle cose più eccitanti che si possono fare con un calcolatore e vi spiega come farle.
Scritti in linguaggio chiaro e comprensibile a chiunque, arricchiti da una moltitudine di illustrazioni, questi libri rappresentano una spiritosa introduzione al mondo dei computer per chi comincia da zero.**

entriamo nel Chip

Anche un piccolo "chip" può portare una rivoluzione. La sua storia è affascinante come un racconto.

altri volumi di questa collana

BATTAGLIE CON IL COMPUTER
Qui il pacifismo non serve. Si gioca alla guerra per imparare il BASIC, quindi ben venga.

LA RIVOLUZIONE INFORMATICA
Come i computer e le nuove tecnologie hanno rivoluzionato il mondo della comunicazione.

I ROBOT
Una parola, sconosciuta qualche decina di anni fa, che oggi rappresenta una realtà nelle fabbriche.

L. 9.000

COD. 005D ISBN88-7056-193-3